

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Návrh kogenerační jednotky na využití bioplynu
Proposal for a Cogeneration Unit to Biogas Use

2010

Bc. Martin König

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin König**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612T015 Elektronika
Téma: **Návrh kogenerační jednotky na využití bioplynu**
Proposal for a Cogeneration Unit to Biogas Use

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor možnosti použití kogenerační jednotky pro využití bioplynu v ČOV.
2. Na základě provedeného rozboru vyberte vhodný typ kogenerační jednotky a specifikujte požadavky na její propojení s napájecí sítí nebo provozem v ostrovním režimu.
3. Na základě předcházejících bodů vypracujte elektrodokumentaci a navrhnete vhodný způsob řízení této jednotky.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího diplomové práce


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010




doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Za pomoc při řešení diplomové práce bych rád poděkoval všem, kteří mi umožnili získat odborné informace formou konzultací a technické dokumentace. Děkuji svému vedoucímu diplomové práce a konzultantovi Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7.5.2010

Bc. Martin König

Abstrakt:

Tato práce se zabývá problematikou použití kogenerační jednotky pro využití bioplynu v areálu čistírny odpadních vod ČOV Hranice. Obsahuje rozbor možnosti použití kogenerační jednotky, jak z pohledu principu a funkce, tak i konstrukce a možnosti řízení. Snaží se postihnout základní rozdíly se specifikací požadavků vzhledem k jejímu propojení s napájecí sítí i v provozu ostrovního režimu. Na základě rozborů a požadavků provozovatele ČOV Hranice byl navržen vhodný typ kogenerační jednotky a k navrženému řešení vypracována realizační projektová dokumentace MaR uvedená v příloze.

Klíčová slova:

Kogenerace, kogenerační jednotka, bioplyn, čistírna odpadních vod, plynový spalovací motor, elektrický výkon, tepelný výkon.

Abstract:

This work deals with the use of cogeneration units for use of biogas in the area of waste water treatment plant ČOV Hranice. Includes analysis of the possibility of using cogeneration units, both in terms of principle and function, as well as design and management options. It tries to capture the essential differences with the specification requirements because of its connection with the supply network traffic even in island mode. Based on the analysis of requirements and service boundaries ČOV Hranice was designed appropriate type of cogeneration unit and the proposed solutions developed design documentation instrumentation MaR listed in the Annex.

Keywords:

Cogeneration, cogeneration unit, biogas, wastewater treatment plant, a gas combustion engine, electric power, heat power.

Seznam použitých symbolů a zkratek

AI	Analogový vstup
AO	Analogový výstup
BM	Biomasa
BP	Bioplyn
BPS	Bioplynová stanice
BRKO	Biologicky rozložitelná složka komunálního odpadu
CZT	Centrální zásobování teplem
ČEA	Česká energetická agentura
ČOV	Čistírna odpadních vod
DI	Binární vstup
DS	Distribuční síť
DO	Binární výstup
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
HDO	Hromadné dálkové ovládání
KJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatthodina
MaR	Měření a Regulace
MPa	Megapascal
MW _{el}	Megawatt elektrického výkonu
MW _t	Megawatt topného výkonu
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PDS	Provozovatel distribuční sítě
PLDS	Provozovatel lokální distribuční sítě
PM	Plynový motor
SCZT	Soustava centrálního zásobování teplem
TUV	Teplá užitková voda
U _n	Jmenovité napětí
f	Frekvence
pH	Vodíkový exponent (kyselost)

Obsah

1.	Úvod.....	- 1 -
2.	Bioplyn.....	- 2 -
2.1.	Výroba bioplynu.....	- 2 -
2.2.	Využití bioplynu.....	- 3 -
2.3.	Vlastnosti bioplynu	- 4 -
3.	Postup návrhu kogenerační jednotky	- 7 -
3.1.	Základní podmínky úspěšné instalace kogenerační jednotky	- 9 -
3.2.	Zásady dimenzování a způsobu provozu KJ	- 9 -
3.2.1.	Dimenzování výkonu kogeneračního zařízení a určení způsobu provozu	- 13 -
3.2.2.	Efektivní produkce elektrické energie.....	- 16 -
3.2.3.	Využití odpadního tepla	- 17 -
3.2.4.	Zajištění kvalitního servisu	- 18 -
3.2.5.	Volba počtu kogeneračních jednotek	- 18 -
3.2.6.	Nakládání s digestátem.....	- 19 -
3.3.	Technické podmínky provozu plynových motorů.....	- 19 -
3.4.	Doplňující údaje charakterizující provoz kogenerační jednotky	- 22 -
3.5.	Výhody využití kogenerační jednotky	- 22 -
3.6.	Nevýhody využití kogenerační jednotky.....	- 22 -
4.	Návrh vhodného typu kogenerační jednotky.....	- 23 -
4.1.	Kogenerační jednotky z hlediska druhu pohonu	- 23 -
4.1.1.	Plynové spalovací motory	- 23 -
4.1.2.	Plynové spalovací turbíny	- 23 -
4.1.3.	Parní turbíny	- 23 -
4.2.	Kogenerační jednotky z hlediska druhu provozu	- 23 -
4.2.1.	Paralelní provoz.....	- 24 -
4.2.2.	Ostrovní provoz.....	- 25 -
4.2.3.	Nouzový provoz	- 26 -
4.2.4.	Kombinovaný provoz P + I	- 26 -
4.2.5.	Kombinovaný provoz P + E	- 27 -

4.3.	Požadavky na elektroinstalaci KJ v závislosti na druhu provozu.....	- 28 -
4.3.1.	Připojení k distribuční síti	- 28 -
4.3.2.	Elektroměry, měřicí a řídicí zařízení	- 29 -
4.3.3.	Spínací zařízení	- 30 -
4.3.4.	Ochrany	- 31 -
4.3.5.	Připojování generátorů	- 34 -
4.3.6.	Řízení jalového výkonu	- 34 -
4.3.7.	Ovlivnění zařízení HDO.....	- 36 -
4.3.8.	Provozní požadavky	- 36 -
5.	Navržené řešení KJ pro instalaci v areálu ČOV Hranice	- 38 -
5.1.	Navržená kogenerační jednotka STRATOS MGM60 BIOPLYN	- 39 -
5.2.	Funkční schéma kogenerační jednotky STRATOS MGM60.....	- 41 -
5.3.	Řízení provozu KJ	- 41 -
5.3.1.	Standardní funkce.....	- 43 -
5.3.2.	Volitelná rozšíření	- 43 -
5.4.	Umístění a připojení jednotky pro dodávku tepla a el. energie	- 44 -
5.5.	Analýza energetického hospodářství komplexu	- 44 -
5.5.1.	Analýza provozu KJ z hlediska zásobování komplexu tepelnou energií	- 45 -
5.5.2.	Analýza provozu KJ z hlediska zásobování komplexu elektrickou energií	- 47 -
5.6.	Energetické zhodnocení provozu KJ	- 48 -
5.7.	Ekologické vyhodnocení provozu kogenerační jednotky.....	- 50 -
5.8.	Ekonomické zhodnocení	- 50 -
6.	Závěr	- 52 -
	Seznam použité a doporučené literatury	- 53 -
	Seznam příloh	- 56 -

1. Úvod

Tématem mé diplomové práce je problematika návrhu a použití kogenerační jednotky pro využití bioplynu v areálu čistírny odpadních vod ČOV Hranice. Toto téma jsem si vybral proto, že mne zajímá a také proto, že již řadu let se pohybuji v oblasti vodohospodářství, kde náplní mého zaměstnání je projekční činnost v oboru elektro, a to se specializací na část Měření a Regulaci.

V kapitole následující po úvodní části se zabývám popisem bioplynu jako produktu anaerobní fermentace/digesce s uvedením jeho chemických a fyzikálních vlastností, včetně jeho energetického využití. Je zde uvedena i základní charakteristika bioplynu z ČOV Hranice.

Ve třetí části se věnuji rozboru možnosti použití a návrhu kogenerační jednotky, jak z pohledu principu a funkce, tak i konstrukce a možnosti řízení. V této kapitole je uveden seznam základních podmínek, zásad při dimenzování výkonu kogeneračního zařízení a určení způsobu provozu pro úspěšnou instalaci kogenerační jednotky, tak i technologické postupy pro efektivní produkci elektrické energie se současným využitím odpadního tepla. Při navrhování KJ je nutno se seznámit i s technickými podmínkami provozu plynových motorů, s údaji charakterizujícími provoz kogenerační jednotky a s výhodami či nevýhodami při jejím využití.

Čtvrtá kapitola je zaměřena na návrh vhodného typu kogenerační jednotky, jak z hlediska druhu pohonu, tak i z hlediska druhu provozu (paralelní provoz, ostrovní provoz, nouzový provoz, kombinovaný provoz paralelní + ostrovní, kombinovaný provoz paralelní + nouzový), včetně uvedení požadavků na elektroinstalaci KJ v závislosti na volbě druhu provozu. Snaží se postihnout základní rozdíly se specifikací požadavků k jejímu propojení s napájecí sítí, připojování generátorů, řízení jalového výkonu, ovlivnění zařízení HDO, instalací elektroměrů, měřicí a řídicí techniky, spínacího a ochranného zařízení i požadavků na řízení provozu KJ.

Pátá část mé diplomové práce popisuje vlastní navržené řešení KJ pro instalaci v areálu ČOV Hranice, analýzu energetického hospodářství komplexu i analýzy provozu při využití navržené kogenerační jednotky a to z hlediska zásobování areálu tepelnou a elektrickou energií. Součástí kapitoly je energetické, ekologické a ekonomické zhodnocení provozu kogenerační jednotky

Cílem diplomové práce „Návrh kogenerační jednotky na využití bioplynu“ je popsat postup návrhu výběru nejvhodnějšího typu kogenerační jednotky a na základě rozborů a požadavků provozovatele ČOV Hranice navrhnout vhodný typ kogenerační jednotky a k navrženému řešení vypracovat realizační projektovou dokumentaci MaR, jenž bude uvedená v příloze.

2. Bioplyn

Termín bioplyn je v současné technické praxi používán pro plyný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek, tzn. rozkladu bez přístupu vzduchu, uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace nebo biogasifikace. Bioplyn je tedy plyná směs metanu a oxidu uhličitého, která v menší míře obsahuje další minoritní složky organického nebo anorganického charakteru. Energeticky využitelný bioplyn je vyráběn v bioplynových stanicích, čistírnách odpadních vod, ale také vzniká v tělesech komunálních skládek. Okruh surovin pro výrobu bioplynu je tedy poměrně široký. Vhodné suroviny vznikají především v zemědělství, kde se jedná o zbytkovou biomasu a exkrementy hospodářských zvířat. Důležitým zdrojem biomasy jsou také odpady z údržby zeleně a kaly z čistíren odpadních vod.

V závislosti na původu bioplynu a složení výchozího substrátu se liší poměrné zastoupení obou jeho hlavních složek (metan, oxid uhličitý), ale i minoritních složek.

Hlavní výhřevnou složkou bioplynu je metan, jehož vysoký obsah řadí bioplyn mezi ušlechtilé zdroje energie. Veškerý vyrobený bioplyn je dnes využíván přímo v místě produkce („on site“), buď ve spalovacích motorech či turbínách, a nebo v kogeneračních jednotkách umožňujících kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Část vyrobeného tepla se spotřebovává k vyhřívání metanizačních nádrží a pro další tepelné hospodářství daného objektu.

2.1. Výroba bioplynu

Anaerobní fermentace/digesce je mikrobiální proces, kdy bez přístupu vzduchu, za optimálně řízených podmínek (např. obsah sušiny, reakční teplota, pH) a za působení vhodných kultur anaerobních mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek za současné produkce bioplynu, který je jímán pro následné energetické využití.

Principiálně se setkáváme se 2 druhy technologií:

- a) Mokrá fermentace – zpracování „čerpatelné“ BM (obsah sušiny max. 12%).
- b) Suchá fermentace – zpracování „nečerpatelné“ BM (obsah sušiny 20% až 60%).

Z hlediska reakční teploty se v praxi nejčastěji setkáváme s procesy :

- | | |
|--------------------------|---|
| Mezofilními (35 až 40°C) | např. při zpracování prasečí kejdy v zemědělství. |
| Termofilními (55°C) | např. zpracování kalu na ČOV (vyšší reakční teplota zajišťuje hygienizaci kalu) |

V doporučené literatuře je možné najít podrobnější členění procesu i další speciality a podrobnosti (např. vícestupňové procesy, sériové řazení mezofilních a termofilních reakčních stupňů, atd.).

V případě anaerobní fermentace je výrazně redukována přirozená pachová zátěž z rozkladu organické hmoty obsažené ve zpracovávaných odpadech. Proces totiž probíhá v plynotěsném reaktoru s dobou zdržení vsázky zpravidla 14-30 dnů. Výsledným produktem anaerobní fermentace je jednak hnojivý substrát (výroba kompostu a hnojiv) a jednak energeticky využitelný bioplyn. Proces není doprovázen žádnými dalšími emisemi nežádoucích chemických komponentů.

Jistou nevýhodou je vyšší investiční náročnost technologie a vyšší provozní náklady. Tato zdánlivá nevýhoda je však více než kompenzována energetickým přínosem BP (výroba a úspora elektřiny + teplo pro další využití).

2.2. Využití bioplynu

Vysoký obsah metanu a tím jeho vysoká výhřevnost řadí bioplyn mezi ušlechtilé zdroje energie. Bioplyn se z reaktorů odvádí do nízkotlakého plynojemu a odtud se rozvádí k dalšímu zpracování. Část se zužitkovává k vyhřívání fermentačních nádrží a pro další tepelné hospodářství BPS. Zbývající část energie se využívá k výrobě tepla pro vytápění budov, pro ohřev teplé vody apod., zbytek se spaluje v hořácích zbytkového plynu, které jsou povinnou výbavou BPS.

Spalování bioplynu:

- **Spalování bez využití energetického potenciálu** – bioplyn je veden přímo do hořáku, který je uspořádán jako hořák zbytkového plynu. Je nutné, aby docházelo k dokonalému spalování. Spalovací komora má být navržena tak, aby minimální doba zdržení neklesla pod 0,3 s a specifickou teplotu hoření 1200 °C. Používá se pouze v případě, že není jiný způsob využití bioplynu a jde tedy pouze o jeho bezpečnou likvidaci.
- **Spalování v topných systémech** – nejstarší metodou využití bioplynu je jeho přímé spalování v kotlích pro ohřev anaerobních reaktorů. Pro tento účel se využije pouze část produkovaného tepla, zbylá část je využívána k vytápění budov nebo ohřevu užitkové vody. V letních měsících je bioplyn často využíván jako zdroj tepla pro sušení různých produktů.
- **Spalování v kogeneraci** – za nejeftivnější se v současné době považuje využití bioplynu pro pohon spalovacích motorů spojených s agregátem na výrobu el. energie, tj. kombinovaná výroba el. energie a tepla. Lze používat upravené zážehové motory nebo

plynové turbíny. Bioplyn lze použít k pohonu motorů, k výrobě mechanické nebo elektrické energie. Odpadní teplo z chlazení motoru a spalin se využívá k ohřevu anaerobních reaktorů, k výrobě teplé vody a k vytápění. Tento způsob ve značné míře pokrývá energetické nároky ČOV.

Dodávky do sítě:

Po úpravě bioplynu na vysoký obsah CH_4 vypírkou CO_2 lze za určitých podmínek dodávat tento plyn do sítě nebo plnit tlakové láhve pro pohon motorových vozidel. V dopravě se bioplynem rozumí palivo vzniklé biologickými procesy z organických hmot, které je pro účel pohonu motorových vozidel zbaveno nežádoucích příměsí, zejména CO_2 a H_2S , tak aby odpovídalo požadavkům na zemní plyn (obsah metanu vyšší než 95 %, výhřevnost srovnatelná). Hlavními nevýhodami používání bioplynu v dopravě jsou: jeho omezené množství, lokální výroba a nákladné čištění na kvalitu zemního plynu. Pro tyto nevýhody je bioplyn používán v dopravě ojediněle – ve Švédsku, Švýcarsku, Francii a na Islandu.

2.3. Vlastnosti bioplynu

Složení bioplynu závisí v první řadě na druhu rozkládaného substrátu, z toho také vyplývají rozdíly ve složení bioplynu (obsahu metanu) z různých technologických procesů. Bioplyn se skládá převážně z CH_4 a CO_2 a menšího množství H_2 , H_2S , N_2 . Při výstupu z metalizačního reaktoru obsahuje ještě určité množství H_2O podle teploty procesu (3 – 4 %) a může obsahovat stopová množství amoniaku, mastných kyselin aj. Bioplyn z dobře pracujících reaktorů obsahuje 65 – 85 % CH_4 a 20 – 35 % CO_2 . Vzhledem k vysokému obsahu metanu je cennou energetickou surovinou. Na obsahu metanu v bioplynu závisí jeho výhřevnost a obvykle se pohybuje v rozmezí od 13,72 do 27,4 kJ/m³ (výhřevnost samotného metanu je 34,3 kJ/m³).

Bioplyn	Obsah CH_4 (obj.%)
Čištění odpadních vod	50-85
Ze stabilizace kalů	60-70
Agroindustriální odpady	55-75
Skládky	35-55

Tab. 2.1 Obsah metanu v bioplynu různých technologií

Metan, který je hlavní součástí bioplynu, je bezbarvý plyn, bez zápachu, se vzduchem tvoří třaskavou směs. Metan je lehčí než vzduch, ale CO_2 těžší než vzduch, tedy relativní hmotnost závisí na

složení a teplotě. Při obsahu metanu nad 53 % začíná bioplyn být lehčí než vzduch. Oba plyny se těžko od sebe oddělují. Přesto, že oba plyny jsou bez zápachu, bioplyn může silně zapáchat. Zápach je způsoben hlavně obsahem H_2S , který se pohybuje v rozmezí $0,1 - 10 \text{ g/m}^3$ a dalšími zejména silnými a dusíkatými organickými sloučeninami, které páchnou již ve velmi nízkých koncentracích (merkaptany, aminy). Podstatně více zapáchá bioplyn ze skládek, kde zvýšení zápachu způsobuje přítomnost dalších látek jako jsou různé estery, alkylbenzeny aj.

Nafta	1 kg	42.6 MJ	11.83 kWh
Topný olej (těžký)	1 kg	40.3 MJ	11.19 kWh
Zemní plyn	1 m ³	36.0 MJ	10.08 kWh
Koks (černé uhlí)	1 kg	28.3 MJ	7.86 kWh
Bioplyn	1 m ³	25.0 MJ	6.95 kWh
Dřevo	1 kg	15.5 MJ	4.30 kWh
Sláma	1 kg	14.2 MJ	3.90 kWh
Hnědé uhlí	1 kg	11.1 MJ	3.08 kWh

Tab. 2.2 Porovnání výhřevnosti jednotlivých paliv

Hlavní chemické vlastnosti

BP je vysoce kvalitní obnovitelný zdroj energie (OZE), který poskytuje celou řadu možností energetického využití. Výhřevnost BP významně ovlivňuje pouze obsah metanu (CH_4), který závisí především na složení vsázky a technologických parametrech BPS.

Hlavní prvky určující chemické vlastnosti jsou síra a dusík. Síra se v různých formách dostává do produkovaného BP, kde následně ovlivňuje životnost plynových zařízení a spotřebičů (zvláště spalínové trakty kogeneračních jednotek, spalínovody a komíny) a má další negativní vlivy (např. urychluje degradaci oleje a opotřebení elektrod zapalovacích svíček spalovacích motorů, apod.). Obsah síry v BP je legislativně limitován (Zákon o ochraně ovzduší) a musí se pravidelně sledovat (např. z důvodů platby poplatků za znečišťování ovzduší plynnými emisemi škodlivin).

S každým příjmem kalu dochází ke vnosu dusíku – N do anaerobního procesu. Jeho nadměrný obsah může mít negativní vliv na stabilitu anaerobního procesu (inhibiční vliv). U procesů, kde se využívá recirkulace fugátu pro ředění substrátů se vnos N může cyklicky zvyšovat. Inhibiční vliv se může významně projevit už při koncentracích volné/amoniakální formy dusíku ($N-NH_4$) ve fermentoru $\approx 3 \text{ g/l}$.

Odsiřovací zařízení

Problémovou složkou BP je sirovodík (H_2S), jenž je při spalování BP příčinou tvorby kyseliny sírové (H_2SO_4), která při kondenzaci ze spalin způsobuje korozi. Proto se musí sirovodík při vyšší koncentraci z BP odstraňovat. V provozech, kde jsou trvale a vysoce překračovány limitní hodnoty sirovodíku (H_2S) v palivu, je nutno vybavit proces odsiřovací jednotkou, která sníží obsah H_2S na podlimitní úroveň. K tomuto účelu se nejčastěji používá chemická adsorpce H_2S do pevné látky (FeO , Fe_2O_3), nebo biologická metoda využívající sírných bakterií, které v aerobním prostředí oxidují H_2S na elementární síru a sírany v závislosti na teplotě a pH.

Škodlivé příměsi

Především sírné sloučeniny mohou způsobovat v sacích a spalinových traktách tvorbu kyselin (koroze). Sírné sloučeniny dále zapříčiňují oxidaci/opalování elektrod zapalovacích svíček a rychlejší degradaci mazacího oleje. Úpravy KJ pro pohon BP :

- použití odolnějších materiálů v sacích a spalinových potrubích,
- použití vhodných materiálů na kluzná ložiska motoru (materiály s minimem obsahu mědi),
- použití mazacích olejů s vyšší alkalickou rezervou,
- úprava intervalu výměny oleje (dle vzorkování) a svíček.

Fyzikální vlastnosti BP

Větší množství nasávaného BP a obecně jeho nižší vstupní tlaky kladou zvýšené nároky na tlakové ztráty a regulační vlastnosti plnicí trati.

Úpravy : větší dimenze potrubí a armatur (elektromagnetické ventily, nulový regulátor tlaku plynu), případná montáž zařízení na regulaci bohatosti směsi.

Energetické využití bioplynu: obecně lze využívat BP mnoha způsoby, např.:

- výroba tepla v teplovodních (horkovodních) resp. parních kotlích,
- kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) v kogeneračních jednotkách,
- čištění BP a jeho prodej do plynárenské sítě resp. provozovatelům jiných energetických systémů (CZT, průmyslové teplárny, apod.), nebo pro pohon dopravní techniky.

Charakteristika bioplynu z ČOV Hranice

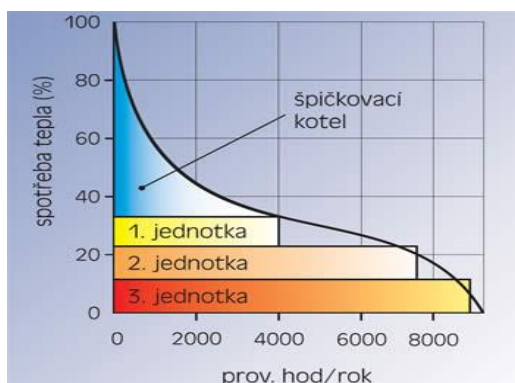
Výhřevnost: $23,4 \text{ MJ/m}^3$, Měrná hmotnost: $1,16 \text{ kg/m}^3$, Průměrná produkce: $48,56 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Složení plynu: 76 % CH_4 , 24 % CO_2 a 1 % ostatních plynů jako N_2 , H_2 , O_2 a H_2S .

3. Postup návrhu kogenerační jednotky

Z technického hlediska lze kogenerační jednotkou nahradit jakýkoli zdroj tepla (kotel) srovnatelného výkonu. Aby však byla instalace kogenerační jednotky ekonomicky výhodná, je potřeba, aby během roku běžela co nejvíce hodin. Proto bude pracovat nejefektivněji tam, kde je celoročně stálý odběr tepla. Takovým místem mohou být ubytovací zařízení (hotely, penziony, internáty), bazény, nemocnice, obecní a městské vytápny, sídlištní blokové kotelny a různé průmyslové podniky. Ve větších zařízeních může být kogenerační jednotka jen základním zdrojem tepla, který bude během zimních špiček doplněn běžným kotlem.

Velikost kogenerační jednotky se nejčastěji odvozuje od spotřeby tepla v daném subjektu. Kogenerační jednotka může pokrývat základní spotřebu tepla, špičky pak pokrývá jiný zdroj, např. plynový kotel. Jinou možností však je volba výkonnější jednotky v kombinaci s akumulací tepla. Pak se kogenerační jednotka uvádí do provozu tak, aby dodávala proud v době, kdy je nejvýhodnější tarif výkupních cen elektřiny.



Obr. 3.1. Pokrytí roční spotřeby tepla třemi kogeneračními jednotkami a plynovým kotlem.

Vyrobenou elektřinu je možno spotřebovat přímo v objektu, nebo ji prodat do sítě. První způsob je obvykle výhodnější, vzhledem k prodejním a výkupním cenám elektřiny. Je také možné, aby kogenerační jednotka byla jediným zdrojem elektřiny v objektu. V tomto tzv. **ostrovním provozu**, bez připojení na síť, vzrůstají náklady na regulaci.

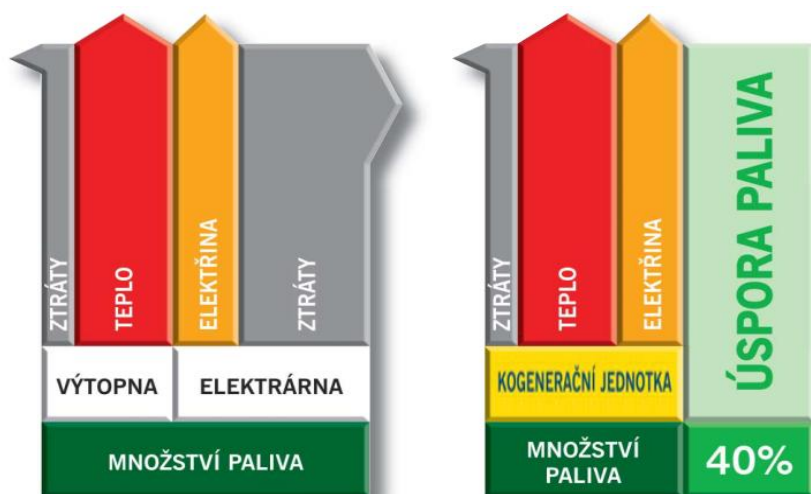
Pro návrh kogenerační jednotky je vhodné znát:

- denní a roční harmonogram spotřeby tepla a elektřiny,
- druh požadovaného teplotního média,
- dostupnost jednotlivých paliv,
- stávající instalovaný výkon kotlů a jejich teplotní a tlakové parametry.

Ekonomika provozu

Tam, kde má kogenerační jednotka doplnit nebo nahradit stávající zdroj tepla (kotel), bývá rozhodujícím parametrem krytí vlastní spotřeby elektřiny. Kogenerační jednotka spotřebuje na výrobu elektřiny a tepla bioplyn z vlastní produkce ČOV, servisní náklady jsou cca 0,40 až 0,60 Kč/kWh. Je-li cena elektřiny ze sítě vyšší než 2,30 Kč/kWh, je už výhodné provozovat kogenerační jednotku pro krytí vlastní potřeby a teplo navíc je "zdarma". Větším odběratelům elektřiny, kteří platí za připojený elektrický příkon a špičkový odběr, může kogenerační jednotka tyto platby výrazně snížit.

Elektřinu z kogenerační jednotky je také možné prodat do veřejné sítě. Provozovatel distribuční soustavy (regionální energetický podnik) je povinen tuto elektřinu vykoupit, jsou-li dodrženy technické podmínky. Vyšší výkupní ceny předepisuje Energetický regulační úřad (ERÚ), je však možné dohodnout individuálně cenu jinou, zejména pro dodávky ve špičce.



Obr. 3.2. Graf porovnání účinnosti oddělené a kogenerační výroby elektrické energie a tepla

Výkupní ceny a zelené bonusy

Pro spalování bioplynu, skládkového plynu, a kalového plynu dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2009 ze dne 3. listopadu 2009, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů jsou stanoveny takto:

Druh obnovitelného zdroje	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Spalování skládkového plynu a kalového plynu z ČOV	2470	1500

Tab. 3.1 Výkupní ceny a zelené bonusy

Energetický regulační úřad podle § 2c zákona č. 265/1991 Sb., o působnosti orgánů České republiky v oblasti cen, ve znění pozdějších předpisů, § 17 odst. 4 písm. d) a § 17 odst. 9 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a § 6 zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), vydává cenové rozhodnutí o cenách elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů.

Pokud je palivem bioplyn, dřevoplyn nebo jiný druh biomasy, může být ekonomicky výhodnější elektřinu prodat do sítě. I zde je výkup povinný a ceny určuje ERÚ.

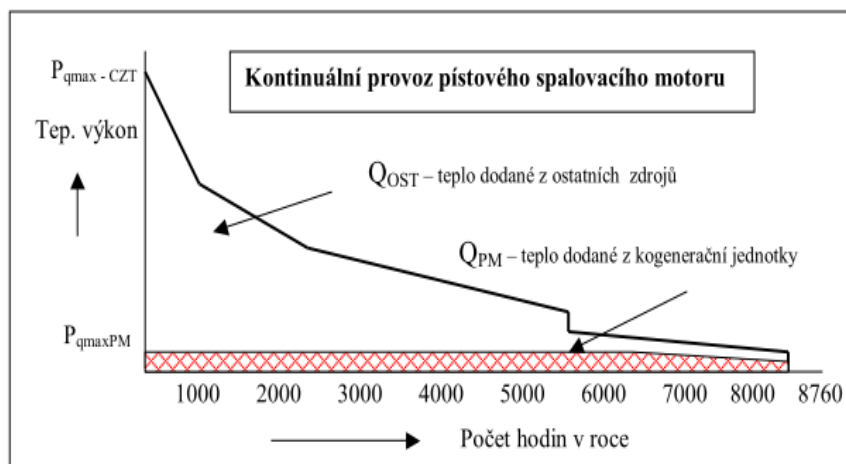
3.1. Základní podmínky úspěšné instalace kogenerační jednotky

- plné využití vyrobeného tepla, a to i v letních měsících,
- vlastní spotřeba vyrobené elektrické energie nebo její dodávka do veřejné sítě,
- zpracování důkladné ekonomické rozvahy, která vychází ze zjištění reálných způsobů vytápění pro daný objekt, spotřeby elektrické energie, investičních a provozních nákladů, návratnosti vložených finančních prostředků,
- kogenerační jednotka musí splňovat emisní limity,
- v případě prodeje elektrické energie (tepla) je nutné požádat Energetický regulační úřad o udělení licence na výrobu prodej elektrické energie (tepla). Uzavřít smlouvu o odběru elektrické energie s distribuční společností např. JME, a.s. (SME, a.s., STE, a.s., JČE, a.s., atd.).

3.2. Zásady dimenzování a způsobu provozu KJ

Kogenerační jednotky s pístovými plynovými motory můžeme díky jejich vlastnostem (relativně velký výkonový rozsah a možnost četných startů a odstávek) dimenzovat buď s ohledem na průběh potřeb elektrické energie (nejčastěji průběh vlastní spotřeby elektřiny ve zdroji), potom je nezbytná kontrola na možnost kontinuálního uplatnění vyráběného tepla (tepelný výkon by měl být do úrovně letních potřeb příslušné soustavy), nebo je dimenzovat s ohledem na potřeby tepla (obvykle se jedná o vyšší výkony než letní potřeby příslušné soustavy), kdy je možno díky akumulátoru tepla koncentrovat provoz do cenově výhodných tarifních pásem pro dodávky elektrické energie do vnější rozvodné sítě.

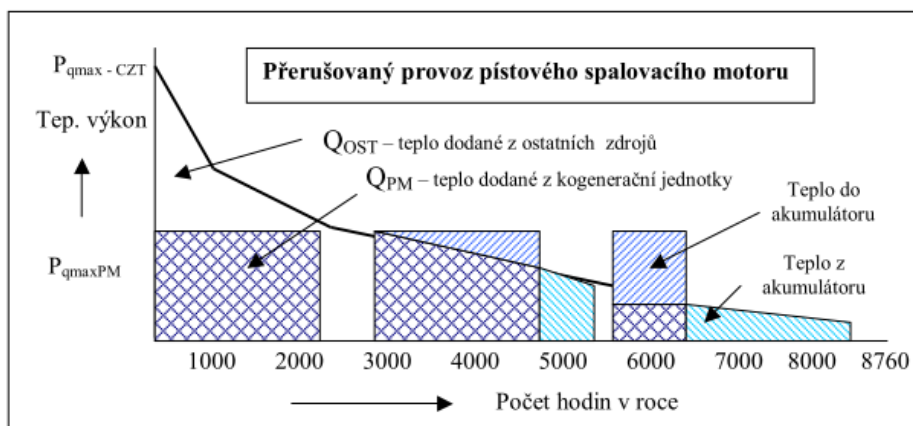
V prvním případě se tedy jedná o kontinuální provoz relativně malých jednotek bez dodávek přebytků elektřiny do sítě (veškerá výroba do úrovně vlastní spotřeby), ve druhém případě se jedná o přerušovaný provoz relativně větších jednotek s programově řízenými dodávkami elektřiny do sítě.



Obr. 3.3. Způsob celoročního kontinuálního provozu pístového spalovacího motoru

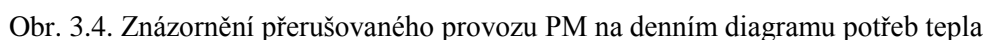
Z diagramu uvedeného na obrázku Obr. 3.3. je zřejmé, že kogenerační jednotka s pístovým spalovacím motorem bude v tomto případě pouze jakýmsi doplňkovým zařízením, tj. že ostatní zdroje tepla (kotle) a zařízení vlastní spotřeby elektřiny budou dimenzovány na plný výkon. Účelem kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem pak bude pouze snížit náklady na nákup elektrické energie ze sítě.

Druhý případ s přerušovaným provozem kogenerační jednotky a využíváním akumulace tepla je znázorněn na obrázku obr. 3.4.



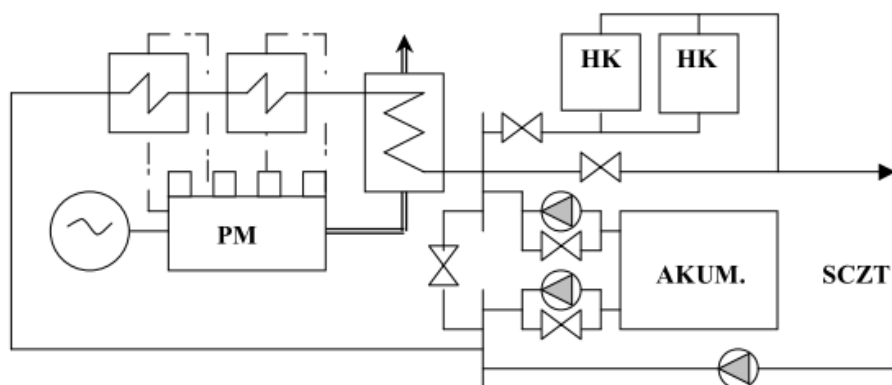
Obr. 3.4. Příklad přerušovaného způsobu provozu PM

Přerušovaným způsobem provozu rozumíme například šestnáctihodinový provoz v zimním období (odstávky na noc), dvanáctihodinový provoz v přechodném období (odstávky v době poledního útlumu a na noc) a osmihodinového provozu v letním období (čtyři hodiny ráno a čtyři hodiny večer), jak je znázorněno na obrázku obr. 3.4.



Tak například cenový výměr pro příspěvky k výkupní ceně elektřiny vyráběné formou KVVET rozlišuje výše příspěvku dle toho, zda zdroj je provozován nepřetržitě, nebo pouze 8 hodin denně v pásmu vysokého tarifu (platí pro zdroje do 5 MWe instalovaného výkonu).

Příklad zjednodušeného technologického schématu zdroje s pístovým spalovacím motorem, spolupracujícím kotlem a akumulátorem tepla je uveden na následujícím obrázku obr. 3.5.



Obr. 3.5. Zjednodušené technologické schéma zdroje s pístovým spalovacím motorem

Pístové spalovací motory, respektive kogenerační jednotky s pístovými spalovacími motory nacházejí využití především ve středních, popřípadě i v malých zdrojích, kde se vyskytují současně potřeby tepla v teplé vodě a potřeby elektrické energie v nižších napěťových hladinách. Jedná se o zdroje pro rozsáhlejší komplexy objektů občanské vybavenosti (nemocnice, plavecké a sportovní haly, obchodní a administrativní centra), nebo i sídlištní či areálové kotelny. Velice časté aplikace jsou i v čistírnách odpadních vod, u skládek komunálního odpadu, perspektivní se jeví nasazení PM u bioplynových stanic například v zemědělských, dřevozpracujících či potravinářských komplexech.

V následující tabulce tab. 3.2 jsou uvedeny obvykle dosahované provozní ukazatele při základním nepřerušovaném provozu KJ s PM a při provozu s pravidelnými odstávkami.

Parametr	Jednotka	KJ při celoročním kontinuálním provozu	KJ při přerušovaném způsobu provozu
Celková roční doba provozu KJ	hod.	8000 - 8500	2500 - 4000
Doba využití max. výkonu KJ	hod.	8000 - 8500	2500 - 4000
Výkonový teplotní součinitel	-	0,05 - 0,1	0,4 - 0,6
Roční teplotní součinitel	-	0,2 - 0,4	0,5 - 0,8

Tab. 3.2 Přehled obvykle dosahovaných provozních ukazatelů zdrojů s PM

3.2.1. Dimenzování výkonu kogeneračního zařízení a určení způsobu provozu

a) vhodný druh KJ (s motorem nebo s turbínou)

Ve výkonové kategorii do 5 MW elektrického výkonu kogenerační jednotky je nutno dát přednost vždy jednotce s plynovým motorem v důsledku vyšší elektrické účinnosti a nižším měrným investičním nákladům. Aplikace těchto jednotek je však podmíněna požadavkem dodávky tepla v teplé nebo horké vodě případně v kombinaci teplé vody a páry - součástí instalace kogenerační jednotky s plynovým motorem je tedy v některých případech též vynucená rekonstrukce dodávky tepla.

b) vhodné dimenzování výkonu KJ

Podle druhu komplexu s odpovídajícím charakterem dodávky tepla a elektrické energie by kogenerační jednotka měla být výkonově dimenzována vzhledem k následujícím zásadám:

- v komplexech s dodávkou tepla (městské výtopny a teplárny)
 - dle ročního diagramu odběru tepla je stanoven tepelný výkon jednotky tak, aby byl využit minimálně cca 4000 hod/rok, elektrický výkon daný poměrem elektrické a tepelné účinnosti jednotky (kromě krytí vlastní malé spotřeby) je využit převážně při dodávce elektrické energie do sítě.
- v komplexech ostatních
 - dle poměru elektrického a tepelného výkonu jednotky jako nejvhodnější kompromis s přihlédnutím k poměru spotřeby elektrické energie a tepla (poměr ročních a denních průběhů spotřeby) s cílem co nejvyššího:
 - snížení dodávky elektrické energie ze sítě,
 - snížení maxim odběru elektrické energie,
 - časového využití instalovaného výkonu jednotky,
 - využití vyrobeného tepla.

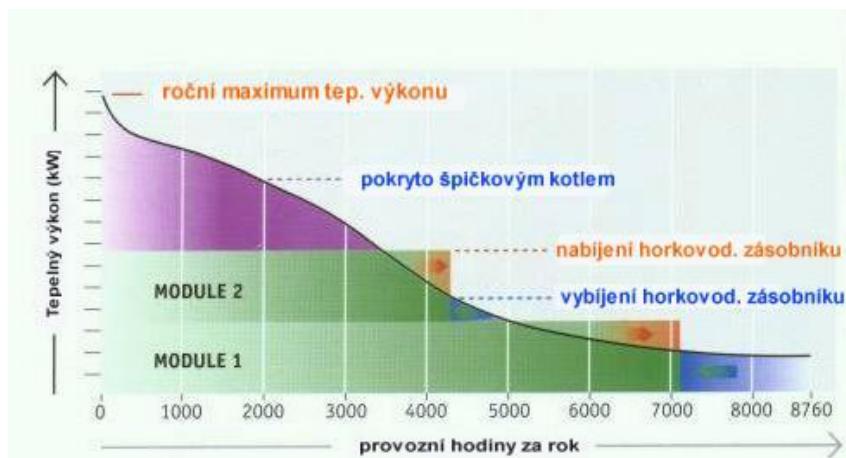
c) řízení provozu kogenerační jednotky

- provoz KJ musí být nadřazen provozu ostatních zdrojů energie tak, aby byl co nejvíce časově využit její elektrický i tepelný výkon (případně kromě období nízkého tarifu, kdy by vznikl záporný finanční přínos z výroby elektrické energie).

d) umístění a šíření hluku KJ

- je nutno přihlédnout k dispozičním možnostem a omezení šíření hluku při provozu jednotky.

Na následujícím diagramu je znázorněn provoz kogenerační jednotky spolupracující s plynovým kotlem a dodávající teplo a el. energii do objektů závodu. Provoz jednotky při dodávce tepla je prioritní, pokrývá základní spotřebu tepla závodu, kotel zajišťuje špičkovou dodávku tepla.



Obr. 3.6. Diagram ročního využití výkonu KJ

Tento diagram lze použít jen pro první hrubý odhad vhodného výkonu soustrojí a dosažitelného ročního využití výkonu. Ve specifických podmínkách ČR je třeba dimenzovat kogenerační jednotku s ohledem na konkrétní podmínky provozovatele, s cílem dosáhnout co nejvyššího časového využití soustrojí. Spodní ekonomická mez ročního využití je obvykle 3 500 - 4 000 motohodin.

Na straně tepelného výkonu se kogenerační jednotka provozuje paralelně s kotlem. Oba zdroje tepla jsou připojeny k otopné soustavě, přípravě teplé vody nebo jiným tepelným spotřebičům, jako je například technologie kalového hospodářství (např. fermentorů). Podle charakteristiky spotřeby objektu může být rozumné použít akumulční zásobník, aby byla kogenerační jednotka co nejdelší dobu v chodu bez přerušení.

Kogenerační jednotka i přes řádnou údržbu a dodržování plánovaných prohlídek a oprav může být v důsledku nepředvídané poruchy náhle odstavena z provozu, i proto je doporučen její provoz paralelně s plynovým kotlem, aby byla zachována potřebná dodávka tepla.

Dimenzování jmenovitého výkonu kogenerační jednotky a návrh způsobu jejího provozu je jedním z nejdůležitějších přípravných kroků, protože má přímý vliv na ekonomii provozu tohoto zařízení a tím na úspěšnost celého záměru. Proto je nutno věnovat tomuto tématu patřičnou pozornost.

Z hlediska elektrického výkonu, je prvořadě pokrýt vlastní spotřebu v areálu. Pokud produkce elektřiny převyšuje spotřebu, je k dispozici poskytnutí přebytečné elektrické energie do veřejné distribuční sítě.

Poměr elektrického a tepelného výkonu kogenerační jednotky s plynovým motorem nelze libovolně měnit, ale je dán konstrukčním provedením zařízení, jeho velikostí a teplotou vyráběného tepla. Dle typu konkrétního zařízení se tento poměr pohybuje obvykle v rozmezí od 1 : 1,2 pro jednotky o vyšším výkonu, až po 1 : 2 pro jednotky o velmi nízkém výkonu. Současně platí, že při vyšší požadované teplotě vyráběného tepla, se poměr zhoršuje v neprospěch výroby el. energie.

Uvedené poměry platí při provozu jednotky na jmenovitý výkon, při poklesu výkonu se poměr výroby elektrické energie a tepla zhoršuje v neprospěch výroby el. energie. Přitom ale celkové využití plynu pro výrobu tepla a el. energie v jednotce je prakticky stejné, pouze větší část je konvertována na teplo. V tomto směru je nutno zdůraznit, že většina kogeneračních jednotek je koncipována pro dodávku tepla na úrovni teplot 90/70°C. Vzhledem ke konstrukčnímu řešení motoru, použitým materiálům a pro dosažení uspokojivé tepelné účinnosti jednotky, nepřekračuje maximální teplota dodávaného tepla cca 110/80°C (ve výjimečných případech u jednotek vysokých výkonů).

Protože vyrobenou elektrickou energii v kogenerační jednotce je možno obvykle zhodnotit výhodněji než teplo, je snahou navrhovat jmenovitý výkon jednotky tak, aby mohla být převážně provozována s co nejvyšší elektrickou účinností, tzn. na jmenovitý výkon - v případě stejného zhodnocení tepla jako el. energie nemá smysl instalovat drahou kogenerační jednotku, ale pouze relativně levný kotel.

Východiskem pro dimenzování výkonu jednotky a způsobu jeho časového využití je tedy především analýza odběru tepla a el. energie, který lze krýt kogenerační jednotkou.

Vzhledem k omezené teplotní úrovni tepla dodávaného kogenerační jednotkou je nutno uvažovat pro dimenzování jednotky pouze harmonogram odběru tepla v úrovních teplot nepřesahujících cca 110°C. V této souvislosti je nutno stanovit harmonogram odběru tepla a el. energie nejen roční, ale i denní, který je nutno definovat po hodinách pro typické dny topného, přechodného a letního období. Hodnoty průměrných denních odběrů tepla a el. energie jsou pro návrh výkonu jednotky obvykle zavádějící, neboť nevystihují požadavky na dodávku okamžitého tepelného i elektrického příkonu, důsledkem je návrh jednotky, jejíž tepelný nebo elektrický výkon není zcela během dne využit (nutné maření tepelného výkonu nebo provoz jednotky na nižší než jmenovitý výkon).

Protože na rozdíl od el. energie vyrobené v kogenerační jednotce lze vyrobené teplo akumulovat, je možno instalovat akumulátor tepla paralelně připojený k jednotce a pomocí něj řešit časovou disproporci mezi výrobou a požadavkem na odběr tepla – např. v případě dodávky el. energie do sítě, je výhodné v letním provozu kogenerační jednotku o tepelném výkonu přesahující

okamžitý odběr TUV, provozovat jen v době odběrových špiček (vysoká výkupní cena el. energie) a akumulované teplo využít pro celodenní dodávku TUV.

Elektrická účinnost roste a měrné investiční náklady vztažené k výkonu klesají s rostoucí velikostí KJ. Tento fakt je nutno zohlednit při návrhu pokrytí požadovaného výkonu jednou nebo více jednotkami. Z hlediska spolehlivosti a snížení sankčních poplatků za překročení odběrového maxima (sníženého po instalaci jednotky) v případě dodávky el. energie pro vlastní spotřebu je vhodnější celkový požadovaný jmenovitý výkon rozdělit do dvou nebo i více jednotek, které při provozu s kopírováním výkonu dle spotřeby zajišťují vyšší elektrickou účinnost jednotlivých jednotek. Naopak při dodávce el. energie do sítě s platbou jen za dodaný el. výkon je obvykle vhodnější instalovat jednu větší jednotku s vyšší účinností a nižší měrnou cenou. Tento závěr platí ovšem jen pro případ, kdy jednotka pokrývá základní zatížení v odběru tepla a je provozována pouze na jmenovitý výkon.

Pro dosažení ekonomicky výhodného provozu kogenerační jednotky je třeba její instalovaný elektrický (a tím i tepelný) výkon a způsob provozu (časové využití instalovaného výkonu) navrhnout tak, aby vyrobená elektrická a tepelná energie byla maximálně využita a zhodnocena.

V případě průmyslových závodů a větších objektů (hotely, obchodní domy, nemocnice) s vyšší vlastní spotřebou el. energie je třeba el. výkon KJ v prvním kroku dimenzovat tak, aby kryla základní zatížení vlastní spotřeby el. energie příslušného objektu a následně kontrolovat stupeň využití vyrobeného tepla, dle příslušného tepelného výkonu jednotky a harmonogramu spotřeby tepla subjektu. Doplněk ve spotřebě el. energie přesahující základní zatížení je dodáván ze sítě, doplněk ve spotřebě tepla z vlastních kotlů nebo z interního zdroje tepla.

3.2.2. Efektivní produkce elektrické energie

Z technických dat KJ je rozhodující elektrická účinnost. Udává, kolik procent z energie obsažené v plynu se převede na vyrobenou elektřinu. Vklad vyšší investice do účinnější KJ se vyplatí, neboť KJ má dlouhou životnost a při průměrném ročním využití 8 000 motohodin má investice do vyšší elektrické účinnosti rychlou návratnost.

Vliv elektrické účinnosti na tržby za elektřinu ukazuje následující příklad porovnání dvou potenciálních KJ (spotřeba 200 m³/hod. plynu, 60 % metanu, výkupní cena 3,04 Kč/kWh):

- el. účinnost KJ = 35 % = 420 kWh = 1277 Kč/hod

- el. účinnost KJ = 40 % = 480 kWh = 1459 Kč/hod

rozdíl 182 Kč/hod

Při ročním provozu 8 000 hodin: 8 000 x 182 = 1 456 000,- Kč/rok příjem navíc z provozu KJ s vyšší elektrickou účinností.

3.2.3. Využití odpadního tepla

Konkrétní technická řešení využití tepla závisí na místních podmínkách. Běžným způsobem je použití pro otop a ohřev TUV v areálu, kde KJ stojí. Pokud jsou tyto odběry malé resp. pouze sezónní, je potřeba zvážit další možnosti, např. dodávky tepla jiným odběratelům (obce, podniky), sušárenské technologie, temperované sklady, vytápěné skleníky, chov teplomilných ryb a živočichů, apod.

Využití tepla pro potřeby samotného procesu

Při spalování bioplynu v kogenerační jednotce dochází kromě elektřiny také k významné produkci tepla, která bývá zpravidla vyšší než produkce elektrická. Spotřeba tepla pro vlastní technologické procesy závisí zejména na tepelné ztrátě fermentorů, druhu teplotního procesu fermentace (mezofilní nebo termofilní) apod. Ve většině případů se spotřeba tepla pro technologické ohřevy pohybuje v rozmezí 40 – 55 %.

Další možnosti využití odpadního tepla

Využití přebytků tepla bývá na většině BPS problematické. Důvodem je fakt, že v místech plánované výstavby BPS není zpravidla možnost toto teplo využít a je nutné uvažovat o výstavbě dalších systémů pro jeho využití (např. teplovody, předávací/výměňkové stanice apod.). Investiční náklady na systémy využití tepla bývají poměrně vysoké, nicméně úspěšně realizovaný projekt může mít významný pozitivní přínos pro ekonomickou efektivitu KJ.

Již v rámci studie proveditelnosti projektu KJ by měla být vytipována perspektivní opatření pro využití přebytků tepla. Realizaci těchto opatření je často zapotřebí koncipovat jako samostatný podnikatelský projekt, jehož vhodné načasování záleží na místní poptávce po využití této energie, na vývoji cen energií, dostupnosti dotačních titulů apod.

Možnosti využití tepla jsou následující:

- vytápění objektů v bezprostředním okolí, zejména v areálu,
- dodávky do systému CZT a vytápění přilehlých objektů,
- pro potřeby přidružených podnikatelských provozů – různé druhy sušárenských technologií (sušárny dřeva, sušárny obilí, sušárny fermentačních zbytků, sušárny pilin, peletační/briketovací linky, haly pro sušení sypké biomasy), stanice pro chov teplomilných živočichů a ryb, skleníky, apod.

Realizace některých z těchto možností je velmi individuální, záleží na vhodných faktorech (místní poptávka po využití této energie, vývoj cen energií, dostupnost dotačních titulů apod.) a na důslednosti připraveného projektu.

Praktický příklad využití tepelné energie

S řadou příkladných realizací využití tepelné energie z KJ se můžeme setkat v sousedním Německu nebo Rakousku. Např. obyvatelé malé obce poblíž Neumarktu in der Oberpfalz v Bavorsku využili místní BPS a na vlastní náklady vybudovali teplovod z BPS do svých rodinných domů. Vlastník BPS se naopak zavázal, že po dobu 10 let bude teplo bezplatně dodávat obyvatelům obce, a poté bude cena tepla nižší cca o 35 % než dosavadní cena tepla z topného oleje. Po uplynutí 10 let bude teplovod převeden do vlastnictví provozovatele.

3.2.4. Zajištění kvalitního servisu

Pro ekonomicky úspěšný provoz je potřeba osazovat KJ, které mají jednak špičkové technické parametry (např. elektrická účinnost, životnost) a současně mají zajištěn kvalitní, operativní a cenově přiměřený servis. Při volbě dodavatele KJ je tedy nezbytné požadovat doložení:

- zajištění servisního zázemí na území ČR,
- reference základního přehledu dosavadních realizací kogeneračních jednotek a stability jejich provozu (doba provozu zařízení),
- garance stability provozu KJ (ideálně 8 000 nebo více hod/rok),
- servisních podmínek, včetně soupisu všech oprav a údržby v průběhu životnosti zařízení a délku trvání jednotlivých oprav a údržby,
- nákladů na servis a údržbu zařízení (rozdíly v ceně a životnosti základních komponent KJ mohou být velmi rozdílné),
- postupu při neplánovaných odstávkách/nespolehlivosti zařízení, včetně případného totálního selhání motoru,
- možnosti zajištění odborné pomoci při uvádění zařízení do provozu.

3.2.5. Volba počtu kogeneračních jednotek

Instalace jedné KJ znamená určitou závislost na spolehlivém provozu této jednotky a při případné poruše či odstávce to představuje výpadek výroby a absenci tržeb. Nicméně v zahraničí je možné setkat se často s tím, že investor dá přednost modernímu zařízení s jednou jednotkou z důvodu vyšší elektrické účinnosti a nižší měrné ceny (Kč/kW_{el}) výkonnější jednotky. Instalace dvou, popř. vícero modulů KJ může v určitých případech představovat zvýšení záruky provozní spolehlivosti a optimálního využití bioplynu. V takovém případě je vhodnější kombinovat pouze KJ od jednoho výrobce a nejlépe i jednoho typu (jedna servisní organizace, stejné servisní intervaly a náhradní díly apod.).

Zvolení vhodného počtu KJ z hlediska optimalizace elektrické účinnosti je důležité zejména u KJ se zážehovými plynovými motory, a to v důsledku výrazně nižší elektrické účinnosti jednotek s malým instalovaným výkonem. I v ČR ukazují praxe příklady instalace velkého počtu modulů KJ s plynovými motory s malým instalovaným výkonem, což může vést k neefektivnímu navýšení celkové investice a k výrazně nižší elektrické účinnosti. Např. při instalovaném výkonu 1 MW_{el} lze instalaci 4 modulů KJ považovat zpravidla za neefektivní.

3.2.6. Nakládání s digestátem

Výsledkem fermentačního procesu v bioplynové stanici je stabilizovaný materiál v kapalné podobě, tzv. digestát, který lze použít jako kvalitní organominerální hnojivo nebo jako surovinu pro výrobu kompostu, popř. jako rekultivační materiál. Pro další zpracování může být digestát odvodněním převeden do tuhé formy. Ve srovnání s klasickými stájovými hnojivy (surová kejda) má digestát následující přednosti:

- dochází k redukci zápachu při manipulaci a hnojení,
- koncentrace patogenů je výrazně redukována,
- je omezena klíčivost semen plevelů,
- snižuje se žíravý účinek na plodiny,
- obsah snadno rozložitelného uhlíku je redukován, ale žádoucí formy organického uhlíku (prekurzory humusových látek) v digestátu zůstávají,
- obsah žádoucích živin (P, K, N apod.) je zachován,
- celkově tak přispívá ke zlepšení odolnosti plodin a nižší spotřebě pesticidů.

Používání digestátu znamená pro zemědělce finanční úsporu z hlediska náhrady minerálních hnojiv.

3.3. Technické podmínky provozu plynových motorů

Pro úspěšný a spolehlivý provoz plynového motoru, který je nejvíce zatíženou částí, je nutno dodržet následující limitní hodnoty agresivních látek v palivu.

Látka	Limit
Koncentrace sloučenin Chloru	$< 100 \text{ mg/Nm}^3_{\text{CH}_4}$
Koncentrace sloučenin Fluoru	$< 50 \text{ mg/Nm}^3_{\text{CH}_4}$
Celková koncentrace sloučenin Fluoru + Chloru	$< 100 \text{ mg/Nm}^3_{\text{CH}_4}$
Koncentrace sulfanu H_2S	$< 0,1\%$ objemově
Koncentrace křemíku - Si	$< 5 \text{ mg/Nm}^3_{\text{CH}_4}$
Koncentrace amoniaku – NH_3	$< 50 \text{ mg/Nm}^3_{\text{CH}_4}$
Koncentrace olejových par	$< 250 \text{ mg/Nm}^3_{\text{CH}_4}$
Velikost pevných částic	$< 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
Relativní vlhkost paliva	$< 60 \%$
Teplota paliva	$10 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Tab. 3.3 Limity škodlivých látek v palivu

Škodlivé látky v palivu působí nepříznivě zejména v následujících formách:

Kyseliny - Plyn obsahující síru nebo chlór reaguje s kyslíkem během hoření a vytváří silné kyseliny, které napadají všechny části motoru jako jsou ložiska, vložky válců, pístní kroužky, ventilová sedla a ventily, atd. Bioplyn z čistíren odpadních vod obsahuje většinou sirovodík H_2S . Skládkové plyny mají zase často vyšší obsah halogenových sloučenin.

Vlhkost - Voda v tekutém stavu umožňuje vznik kyselého roztoku, který způsobuje přímou korozi prvků plynové a regulační trati a karburátoru.

Pevné částice - Pevné částice způsobují abrazivní opotřebení motoru.

Olejové kapky - Jsou-li odpadní plyny před přivedením k motoru stlačovány kompresorem, může dojít k úniku drobných olejových kapek do stlačovaného plynu. Aditiva kompresorových olejů obsahují barium, calcium a další látky, které nepříznivě působí na zapalovací svíčky, pístní kroužky i prvky plynové trati.

Dodavatelská společnost **Motorgas** předepisuje u svých motorů výměnu oleje, jsou-li překročeny následující maximální limity podle Tab. 3.4.

Veličina	Limit
Viskozita	-20 až +30 % změny původní hodnoty
Total Base Number (TBN)	méně než 50 % TBN nového oleje
Total Acid Number (TAN)	2,5 nad TAN nového oleje
Oxidace (Abs/CM)	20 až 25 nad hodnotu nového oleje
Obsah vody	max.0,2 % hmotnostně
Glykol	není přípustný

Tab. 3.4 Limitní hodnoty motorových olejů

Tlak plynu - Podstatnou součástí kvality dodávky plynu je jeho tlak. Moderní systémy dávkování paliva u přeplňovaných motorů se směšovačem umístěným před turbodmychadlem nemají s tlakem většinou žádné potíže. Přesto je nutné dodržet minimální přetlak na vstupu do regulační plynové tratě na hodnotě 2,0 kPa. V některých případech provozujeme však i na tlaku 0,9 kPa.

Dvojpalivové provedení - Velice často se používá plynový motor v provedení pro dvojí palivo, což znamená, že je možné střídavě spalovat obnovitelné palivo a zemní plyn.

Problémy se stálostí kvality plynu - Odpadní plyny jsou často nestálé ve své kvalitě, a to jak proměnlivým množstvím škodlivých látek, tak kolísající výhřevností. Skládkové a zemědělské plyny jsou v tomto ohledu méně příznivé než bioplyny z komunálních ČOV. Moderní řídicí systémy plynových motorů s regulací směšovacího poměru a antidetonačními přístupy k řízení předstihu zážehu jsou schopny tuto problematiku zvládnout bez větších obtíží.

Omezení vlivu škodlivých látek - Působení výše zmíněných škodlivých látek se dá omezit vyššími nároky na kvalitu a frekvenci údržby, používání speciálních olejů, atd. ve srovnání s provozem na zemní plyn. Nerespektování odlišností provozu může vést k tomu, že technologie nepřináší provozovateli to co od ní očekává. Nezbytnou složkou údržby plynových motorů je používání speciálních předepsaných olejů a systematická kontrola a výměna olejové náplně. Oleje speciálně určené pro plynové motory na méně kvalitní druhy paliv se vyznačují zejména **vysokou alkalickou rezervou**. Tzn., že se používají oleje s vysokým TBN, u nichž alkalická rezerva odpovídá zvýšeným nárokům na neutralizaci kyselin. V případě, že jsou překročeny v Tab. 3.4 uvedené limitní hodnoty, je nutno přistoupit k čištění plynu.

3.4. Doplnující údaje charakterizující provoz kogenerační jednotky

- umístění kogenerační jednotky,
- způsob připojení KJ do energetického systému komplexu,
- způsob řízení a regulace jejího provozu,
- provozní doba, druh provozu,
- průměrná provozní elektrická a tepelná účinnost,
- snížení maxim odběru elektrické energie po instalaci KJ,
- investiční náklady na dodávku a montáž,
- investiční náklady na využití elektrického a tepelného výkonu, přípojky plynu, stavebních, úprav a dalších vyvolaných úprav (např. instalace akumulátoru tepla),
- provozní náklady bez paliva (výměna oleje, svíček, střední a generální opravy a pod.).

3.5. Výhody využití kogenerační jednotky

- při vlastní spotřebě tepla a elektrické energie se vyhneme přenosovým ztrátám,
- využíváním odpadního tepla při výrobě elektrické energie dochází až ke 40 % úspoře paliva ve srovnání s tradičními technologiemi,
- vysoká efektivita využití paliva na 80 % až 85 %. Z toho připadá 30 až 35 % na elektrickou energii 65 – 70 % na teplo,
- kogenerační jednotky produkují nízké emise škodlivin ve srovnání s uhlím,
- přebytky vyrobené elektrické energie výrobce může prodávat do veřejné rozvodné sítě na základě smluvního vztahu s distribuční společností (majitelem rozvodné sítě elektřiny) a tím může výrazně ovlivnit návratnost vložených finančních prostředků, popř. využít nabídky tzv. „zelených bonusů“.

3.6. Nevýhody využití kogenerační jednotky

- poměrně vysoké investiční náklady na zařízení,
- návratnost vložených finančních prostředků je závislá na využití vyrobeného tepla a elektrické energie,
- nutnost zajistit ochranu proti hluku.

4. Návrh vhodného typu kogenerační jednotky

Rozdíly v provedení kogeneračních jednotek na zemní plyn a bioplyn

Rozdíly v provedení jsou vyvolány především vlivem obsahu škodlivých příměsí a odlišnými fyzikálními vlastnostmi BP.

4.1. Kogenerační jednotky z hlediska druhu pohonu

4.1.1. Plynové spalovací motory

Tento typ kogeneračních jednotek je vhodný zejména pro ohřev vody. 2/3 vyrobeného tepla má teplotu 100°C a 1/3 tepla, kterou tvoří výměník výfuku (zplodiny spalování) má teplotu až 400°C.

4.1.2. Plynové spalovací turbíny

Mají vysoký potenciál tepla, teplota spalin dosahuje teplot vyšších jak 500°C. Výhodné je jejich použití pro dodávky technologické páry nebo horké vody.

4.1.3. Parní turbíny

Teplárenské využití – výroba tepla v centrálním zdroji, pro dodávky technologické páry.

4.2. Kogenerační jednotky z hlediska druhu provozu

Základní druhy provozu kogenerační jednotky jsou tyto:

- Paralelní provoz ze sítě (označován doplňkovým písmenem P),
- Ostrovní provoz (označován doplňkovým písmenem I),
- Nouzový provoz (označován doplňkovým písmenem E).

Vzájemné možné kombinace jsou:

- P + I
- P + E

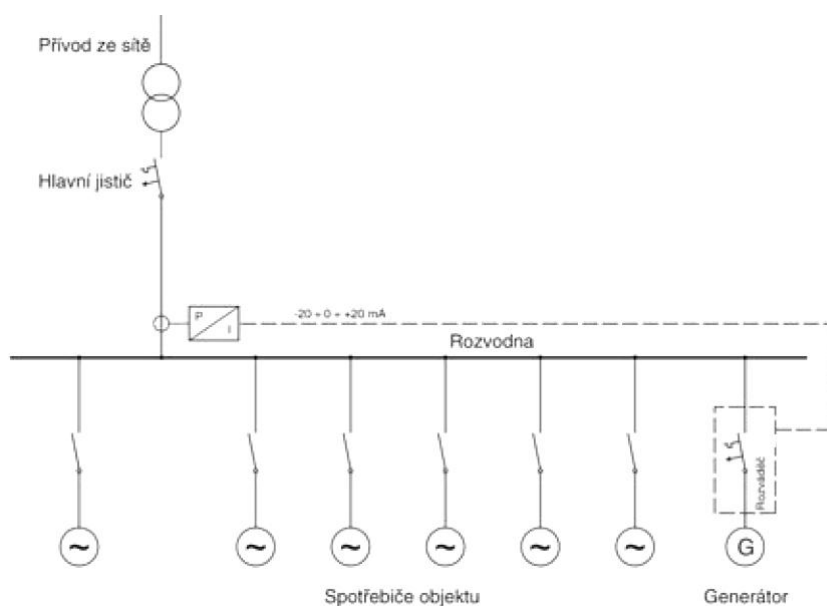
Kogenerační jednotky vybavené asynchronním generátorem mohou pracovat pouze v paralelním provozu se sítí. Osazením synchronního generátoru je však splněna pouze jedna z podmínek k tomu,

aby soustrojí bylo schopno pracovat v nouzovém či ostrovním provozu. Mimo to je nutno provést celou řadu dalších změn, např. pro startování osadit akumulátorové baterie (namísto standardně používaného startovacího zařízení), do rozvaděče soustrojí osadit nabíječku těchto baterií, použít plynové ventily s napájecím napětím 24V stejnosměrných, změnit ovládací a napájecí obvody pro čerpadla a ventilátory, apod.

4.2.1. Paralelní provoz

Při paralelním provozu dojde po povelu ke spuštění jednotky k nastartování motoru a po dosažení nominálních otáček je zahájeno automatické fázování generátoru k síti. V okamžiku splnění všech podmínek pro přifázování připne stykač nebo jistič s motorovým pohonem generátor k síti. Dále pak jednotka pracuje paralelně se sítí na zadané hodnotě elektrického výkonu a vyrobenou elektrickou energii dodává do sítě. Po povelu stop jednotka sníží výkon na tzv. prochlazovací úroveň, po nastavené době se generátor odpojí od sítě, následuje zastavení motoru a v provozu zůstanou pouze spotřebiče potřebné k dochlazení soustrojí. Po skončení prochlazovacího cyklu odstaví i tyto spotřebiče a jednotka se uvede do klidu.

Kogenerační jednotky (menších výkonů do 100 kW) bývají většinou vybaveny asynchronními generátory pro paralelní provoz se sítí. U těchto KJ je jednotka startována tak, že je generátor připojen v motorickém režimu ve dvou krocích k síti a po nastartování spalovacího motoru je zahájena dodávka elektrické energie. V tomto druhu provozu pracuje převážná většina instalovaných kogeneračních jednotek. Asynchronní generátory jsou jednodušší a levnější. Je možné je doplnit mikroprocesorovým řídicím systémem, který umožňuje dálkové sledování provozu.



Obr. 4.1. Schéma paralelního provozu generátoru se sítí

Při paralelním provozu generátorů mezi sebou nebo se sítí se může rušivě projevit harmonická oscilace 3. řádu ve formě vyrovnávacích proudů. Tyto se přičítají k fázovým proudům a mohou vést k nepřipustnému zahřátí generátorů. Nulový proud nesmí překročit 50 % jmenovitého proudu. Při vyšších proudech je nutno přijat vhodná opatření na omezení, kupříkladu tlumivku.

4.2.2. Ostrovní provoz

V ostrovním režimu pracuje jednotka autonomně bez připojení na rozvodnou síť. Po povelu na start jednotky probíhá automatický proces připojování generátoru k rozvodně, do které je vyveden jeho výkon. Po splnění stanovených podmínek dojde k připojení generátoru k rozvodně. V okamžiku připojení je třeba zajistit, aby na rozvodně bylo připojeno pouze základní malé zatížení, cca 20 % nominálního výkonu generátoru. Další spotřebiče je nutno připojovat postupně ve čtyřech až pěti krocích tak, aby nedošlo k překročení nominálního výkonu generátoru. Generátor potom dodává do ostrovní zátěže výkon, jehož velikost je dána okamžitou potřebou zátěže. Před odstavením jednotky je vhodné nejprve postupně vypnout většinu spotřebičů a jednotku nechat v provozu cca 3÷5 minut na výkonu cca 20 – 30 % nominálního výkonu. Poté je možno stisknout tlačítko STOP, čímž dojde k odpojení generátoru od rozvodny, dále následuje krátký čas, kdy se soustrojí zůstane točit na jmenovitých otáčkách, a teprve potom motor zastaví. Dochlazení jednotky při tomto druhu provozu není možné, protože po zastavení motoru již nemáme k dispozici elektrickou energii pro pohon čerpadel a ventilátorů. Tento druh provozu je ojedinělý.

Kogenerační jednotky se synchronními generátory mají vyšší účinnost. Mohou pracovat nejen paralelně se sítí, ale i nezávisle na ní. Jejich využití je širší, používají se jako nouzové zdroje elektrické energie, které zabezpečují dodávku i při výpadku dodávky elektrické energie ze sítě.



Obr. 4.2. Schéma ostrovního provozu synchronního generátoru

Regulace frekvence v ostrovní síti

Frekvence ostrovní sítě je závislá na poměru výkonů jednotlivých zdrojů a příkonů jednotlivých zátěží v síti. Při rychlé změně zátěže v ostrovní síti a konstantním výkonu zdrojů dojde ke změně

frekvence. Udržet frekvenci v povolených mezích je možno buď rychlou změnou zátěže, nebo změnou výkonu zdroje. Z fyzikálních důvodů není obvykle možná rychlá změna výkonu zdroje. Jediným způsobem jak rychle změnit zátěž je použití elektronického setrvačnicku. Nastavením vhodných parametrů na setrvačnicku je možné udržovat rezervní výkon v mezích 0-110 % výkonu zdroje. Použitím elektronického setrvačnicku se výrazně zlepšuje stabilita ostrovní sítě a prodlužuje se životnost regulačních zařízení KJ.

4.2.3. Nouzový provoz

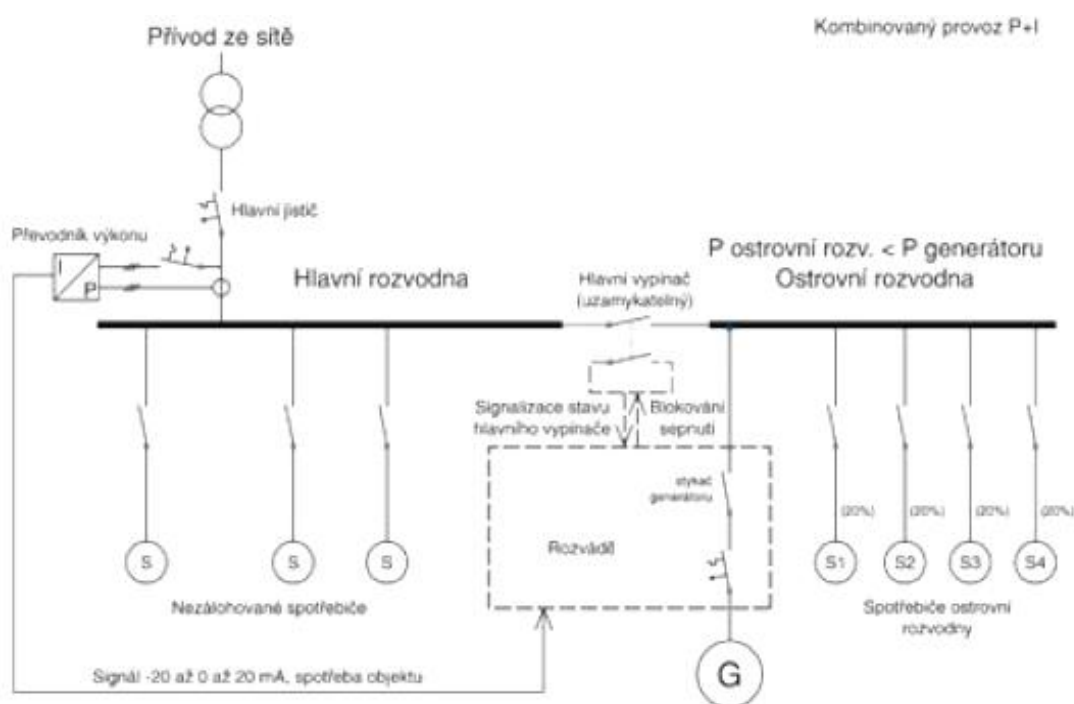
V nouzovém provozu plní kogenerační jednotka funkci záložního zdroje. Řídicí systém kogenerační jednotky při tomto druhu provozu ovládá dva silové spínací prvky. Jedním z nich se připojuje generátor k nouzové rozvodně (stykač generátoru), druhý slouží pro spojení nouzové rozvodny s rozvodnou hlavní, resp. se sítí (stykač sítě). Pokud je síť v pořádku, je jednotka v pohotovostním stavu, stykač sítě je sepnut a napájení nouzové rozvodny probíhá z hlavní rozvodny, resp. ze sítě. Při výpadku sítě odpadne stykač sítě a začne probíhat automatický start jednotky s následným připojením generátoru k ostrovní zátěži. Jednotka pak dodává elektrický výkon do ostrovní zátěže za stejných podmínek jako v ostrovním provozu. To znamená, že v okamžiku připojení generátoru k nouzové rozvodně může být na této rozvodně pouze základní malé zatížení a připojování dalších spotřebičů je nutno řešit automatikou postupného, časově odstupňovaného spínání v několika dalších krocích.

Po obnovení sítě jednotka ještě po nastavenou dobu dále pracuje do ostrovní zátěže, přičemž řídicí systém kontroluje, zda nedojde k opětovnému výpadku sítě. Není-li tomu tak, začne proces zpětného připojování k síti. Způsob, kterým toto připojení probíhá, je nutno na konkrétní instalaci řešit dle požadavků zákazníka za předpokladu splnění podmínek stanovených příslušným rozvodným podnikem. Pro chod jednotky v nouzovém provozu platí stejné podmínky jako pro ostrovní provoz.

4.2.4. Kombinovaný provoz P + I

Tento druh provozu se využívá tam, kde je kromě paralelního provozu požadováno i zálohování, ale není nutné, aby převzetí zátěže proběhlo bezprostředně a automaticky po výpadku sítě. V tomto případě je nutno hlavní rozvaděč, ze kterého je napájena zátěž, vybavit spínacím prvkem (jističem), pomocí kterého je možno při výpadku sítě ručně odpojit síť od hlavního rozvaděče objektu. Pomocné kontakty tohoto jističe zabezpečují nemožnost připojení jednotky k ostrovní zátěži, je-li jistič sepnut. Tento spínací prvek musí být zabezpečen tak aby nemohlo dojít k jeho ovládání nepovolanou osobou (např. uzamčením rozvodny, ve které je instalován). Pracuje-li

jednotka paralelně se sítí a dojde k výpadku sítě, jednotka se okamžitě odpojí od zátěže a vypne se. Pro další provoz do ostrovní zátěže je nejprve nutno ručně vypnout jistič v hlavním rozvaděči, řídicí systém kogenerační jednotky přepnout do režimu „Ostrovní provoz“ a pak je teprve možno jednotku spustit. Současně s přepnutím jednotky do ostrovního režimu je blokováno sepnutí jističe v hlavní rozvodně například tím, že je přerušen přívod napětí na podpěťovou cívku. Ostrovní zátěž (spotřebiče připojené na nouzové rozvodně) musí být při tomto typu instalace menší než výkon jednotky. Po obnovení napětí sítě se analogicky provedou stejné kroky v opačném pořadí.

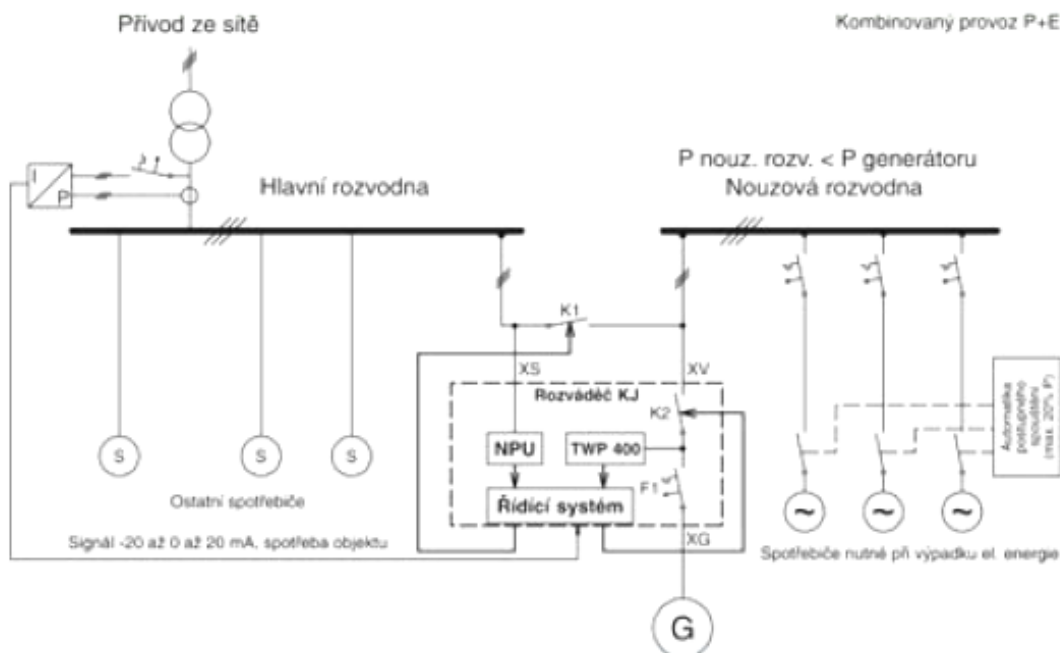


Obr. 4.3. Schéma kombinovaného provozu P + I synchronního generátoru

4.2.5. Kombinovaný provoz P + E

Tento druh provozu se využívá tam, kde je kromě možnosti paralelního chodu požadováno zálohování zdroje elektrické energie s okamžitým automatickým najetím při výpadku sítě. Byla-li jednotka při výpadku sítě v klidu, proběhne proces totožný s nouzovým provozem. Po obnovení sítě proběhne proces zpětného fázování, po jehož ukončení se jednotka odpojí od sítě a vypne se. Pracuje-li jednotka paralelně se sítí a dojde-li k výpadku sítě, odpadne automaticky stykač sítě a za určitých podmínek jednotka převezme bez přerušení dodávky elektrické energie ostrovní zátěž. Z toho jednoznačně vyplývá požadavek na to, aby výkon spotřebičů připojených na nouzové

rozvodně byl menší než výkon jednotky. Po obnovení sítě proběhne proces zpětného připojení na síť, po jehož ukončení zůstává jednotka připojena k síti v automatickém paralelním provozu.



Obr. 4.4. Schéma kombinovaného provozu P + E synchronního generátoru

4.3. Požadavky na elektroinstalaci KJ v závislosti na druhu provozu

Doplnění elektroinstalace spočívá v zabránění působení zpětných vlivů na síť a vyhovění požadavkům ČSN EN 50160. Toto znamená osazení příslušných napěťových a frekvenčních ochranných, z hlediska fázování pak osazení fázovacích relé, zabezpečujících minimalizaci proudových rázů při fázování. Pro ochranu před účinky atmosférické elektřiny a vnějších vlivů je nezbytné osadit svodiče přepětí.

Automatizovaný systém, musí minimálně splňovat požadavky na řízení, zajištění automatického fázování, odstavení při aktivaci ochranných napětí/frekvence, odstavení při poruše na technologii, řízení kompenzace u asynchronních generátorů nebo řízení budicího proudu a tím účinníku u synchronních generátorů.

4.3.1. Připojení k distribuční síti

Vlastní výroby, popř. zařízení odběratelů s vlastními výrobkami, které mají být provozovány paralelně se sítí PDS, je zapotřebí připojit k síti ve vhodném předávacím místě. Způsob a místo

připojení na síť stanoví PDS s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby, stejně jako k oprávněným zájmům výrobce. Tím má být zajištěno, že vlastní výroba bude provozována bez rušivých účinků a neohrozí napájení dalších odběratelů. Připojení k síti PDS se děje v předávacím místě s oddělovací funkcí, přístupným kdykoliv personálu PDS.

Posouzení možností připojení z hlediska zpětných vlivů na síť vychází z impedance sítě ve společném napájecím bodě (zkratového výkonu), připojovaného výkonu, stejně jako druhu a způsobu provozu vlastní výroby.

Synchronní generátory jsou vhodné pro paralelní provoz s jiným generátorem a sítí. Při paralelním provozu je rozdělení činné zátěže určeno poháněcími stroji. Aby byla činná zátěž rovnoměrně rozdělena, musí se regulátory otáček paralelně pracujících poháněcích strojů nastavit na stejnou charakteristiku. Mohou být rovněž vybaveny elektronickým regulátorem zatížení.

Pro paralelní provoz jsou také generátory vybaveny regulátorem statiky pro dobré rozdělení jalové zátěže. Pomocí nastavení odporu v regulátoru statiky se může měnit sklon charakteristiky jalového proudu.

Statika je u výrobce nastavena na hodnotu asi 6 % - při možném rozsahu nastavení 10 %. Toto nastavení dovoluje v paralelním provozu sítě kolísání napětí do $\pm 2,5$ %, aniž by byl překročen maximální jalový proud generátoru. Při větších kolísáních síťového napětí musí být statika buď zvětšena a nebo svorkové napětí regulováno pomocí regulátoru účinníku.

4.3.2. Elektroměry, měřicí a řídicí zařízení

Druh a počet potřebných měřicích zařízení (elektroměrů PDS) a řídicích přístrojů (přepínačů tarifů) se řídí podle smluvních podmínek pro odběr a dodávku elektřiny příslušného PDS. Proto je nutné projednat jejich umístění s PDS již ve stadiu projektu.

Elektroměry pro účtování a jim přiřazené řídicí přístroje jsou uspořádány na vhodných místech udaných PDS. Dodávku a montáž zajišťuje PDS a náklady na jejich instalaci hradí výrobce.

Měření se volí podle napěťové hladiny, ve které výroba pracuje a podle jejího výkonu

- nízké napětí: podle výkonu výroby buď přímé (do 80 A) nebo polopřímé
- vysoké napětí: do výkonu transformátoru 630 kVA včetně - měření na straně nn,
polopřímé
od výkonu 630 kVA měření na straně vn - nepřímé
- 110 kV: měření na straně 110 kV, nepřímé.

Elektroměry pro polopřímé a nepřímé měření se volí elektronické, čtyřkvadrantové.

Přístrojové měřicí transformátory napětí či proudu jsou součástí zařízení výroby. Přístrojové měřicí transformátory musí být schváleného typu, požadovaných technických parametrů a úředně ověřeny.

V případě oprávněných zájmů PDS musí výrobce vytvořit podmínky pro to, aby přes definované rozhraní mohly být na příslušný dispečink PDS přenášeny další údaje důležité pro bezpečný a hospodárny provoz, např. hodnoty výkonu a stavy vybraných spínačů.

4.3.3. Spínací zařízení

Pro spojení vlastní výroby se sítí PDS musí být použito spínací zařízení (vazební spínač) minimálně se schopností vypínání zátěže (např. vypínač, odpínač s pojistkami, úsekový odpínač), kterému je předřazena zkratová ochrana. Tento vazební spínač může být jak na straně nn, tak i na straně vn. Pokud se nepředpokládá ostrovní provoz, lze k tomuto účelu použít spínací zařízení generátoru. Spínací zařízení musí zajišťovat galvanické oddělení ve všech fázích.

Při použití tavných pojistek jako zkratové ochrany u nn generátorů je zapotřebí dimenzovat spínací zařízení minimálně podle vypínacího rozsahu předřazených pojistek.

Výrobce musí prokázat zkratovou odolnost celého zařízení. K tomu mu PDS udá velikost příspěvku zkratového ekvivalentního oteplovacího proudu a velikost nárazového zkratového proudu ze sítě. Způsobí-li nová výroba zvýšení zkratového proudu v síti PDS nad hodnoty, na které je zařízení sítě dimenzováno, pak musí výrobce učinit opatření, která výši zkratového proudu z této výroby nebo jeho vliv patřičně omezí, pokud se s PDS nedohodne jinak.

Při **dimenzování spínacího zařízení** je zapotřebí brát ohled na to, že zkrat je napájen jak ze sítě PDS, tak z vlastní výroby. Celková výše zkratového proudu závisí tedy jak na příspěvku ze sítě PDS, tak z vlastní výroby. U větších generátorů je všeobecně požadován výkonový vypínač.

Spínač ke spojení vlastní výroby se sítí PDS slouží jako trvale přístupné spínací místo a jeho uspořádání je závislé na zapojení, vlastnických i provozních poměrech.

U zařízení, která nejsou určena pro ostrovní provoz, mohou být použity generátorové vypínače ke spojování a synchronizaci, stejně jako k vypínání ochranami, tedy jako dělicí vypínače k síti. Při použití asynchronního generátoru není nutné jej k síti složitě fázovat, ani nevyžaduje žádnou regulaci napětí a frekvence.

U zařízení schopného ostrovního provozu slouží synchronizační vypínač mezi spínacím místem a zařízením výrobní k vypínání, ke kterému může dojít činností ochran při jevech vyvolaných v síti PDS. Funkce vazebního a synchronizačního vypínače je zapotřebí specifikovat jako součást smlouvy o způsobu provozu.

Výpadek pomocného napětí pro ochrany a spínací přístroje musí vést automaticky k vypnutí vlastní výrobní, protože jinak při poruchách v síti PDS nedojde k působení ochran a vypnutí.

4.3.4. Ochrany

Opatření na ochranu vlastní výrobní (např. zkratovou ochranu, ochranu proti přetížení, ochranu před nebezpečným dotykem) je zapotřebí provést dle příslušných norem a předpisů. V případě paralelního provozu jednotky s distribuční sítí (obvyklý případ) je třeba věnovat zvýšenou pozornost funkci a spolehlivosti ochran. U zařízení schopných ostrovního provozu je třeba zajistit chránění i při ostrovním provozu.

K ochraně vlastního zařízení a zařízení jiných odběratelů jsou potřebná další opatření využívající ochran, které při odchylkách napětí a frekvence vybaví příslušná vazební spínací zařízení.

U třífázových generátorů připojených na třífázovou síť vede nerovnováha mezi výrobou a spotřebou činného výkonu ke změně otáček a tím frekvence, zatímco nerovnováha mezi vyráběnou a spotřebovávanou jalovou energií je spojena se změnou napětí. Proto musí u těchto generátorů být sledována jak frekvence, tak i napětí.

Je zapotřebí zajistit ochrany s následujícími funkcemi:

Funkce	Rozsah nastavení	Příklad nastavení	Časové zpoždění	Příklad nastavení
Podpětí 1.stupeň $U<$	0.70 U_n až 1.0 U_n	90 % U_n	$t_{U<}$	0,5 s
Podpětí 2.stupeň $U<<$	0.70 U_n až 1.0 U_n	80 % U_n	$t_{U<<}$	0,1 s
Přepětí 1.stupeň $U>$	1.0 U_n až 1.2 U_n	110 % U_n	$t_{U>}$	0,5 s
Přepětí 2.stupeň $U>>$	1.0 U_n až 1.2 U_n	120 % U_n	$t_{U>>}$	0,1 s
Podfrekvence 1.stupeň $f<$	48 Hz až 50 Hz	49,8 Hz	$t_{f<}$	0,5 s
Podfrekvence 2.stupeň $f<<$	48 Hz až 50 Hz	49,5 Hz	$t_{f<<}$	0,1 s
Nadfrekvence $f>$	50 Hz až 52 Hz	50,2 Hz	$t_{f>}$	0,5 s

Tab. 4.1 Seznam ochran a hodnoty jejich nastavení

Po dohodě s PDS lze upustit od 2. stupně uvedených ochran.

Podpět'ová a nadpět'ová ochrana musí být trojfázová.

Podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana může být jednofázová.

Zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben nesmí v nejnepříznivějším případě (v místě přípojného bodu) překročit 3 %, tj.

$$\Delta U_{nn} \leq 3\%.$$

V některých případech může být s ohledem na síťové poměry třeba jiné nastavení ochran. Proto je jejich nastavení vždy nutné odsouhlasit s PDS. Vhodným podkladem pro tato nastavení jsou studie dynamického chování zdrojů v dané síti.

K provádění funkčních zkoušek ochran je zapotřebí zřídit rozhraní (např. svorkovnici s podélným dělením a zkušebními svorkami).

Výrobce je povinen si zajistit sám, aby spínání, kolísání napětí, včetně krátkodobého přerušování, nebo jiné přechodové jevy i v síti PDS nevedly ke škodám na jeho zařízení.

S PDS je zapotřebí dohodnout, které ochrany budou případně zaplombovány.

Zpoždění vypínání podpět'ovou a přepět'ovou ochranou musí být krátké, aby ani při rychlých změnách napětí nedošlo ke škodám na zařízení dalších odběratelů nebo na zařízení vlastní výroby. **Při samobuzení asynchronního generátoru** může svorkové napětí během několika period dosáhnout tak vysoké hodnoty, že nelze vyloučit poškození provozovaných zařízení.

Generátory připojené přes střídače nereagují na nevyrovnanou bilanci činného výkonu automaticky odpovídající změnou frekvence. Proto u nich stačí podpět'ová a přepět'ová ochrana. Oddělená kontrola frekvence jako ochrana pro oddělení není u zařízení se střídači bezpodmínečně nutná; obecně postačuje integrované sledování frekvence v řízení střídače s rozběhovými hodnotami.

Nezpožděným odpojením vlastní výroby při zapnutí obvodu vypínače spojeného s částí sítě, v níž je porucha, automatickým zařízením po časovém intervalu, umožňujícím, aby z této části sítě vymizela přechodná porucha, jsou chráněny **synchronní generátory** před zapnutím v protifázi po automatickém znovuzapnutí po beznapět'ové přestávce. Tyto ochrany pro nezpožděné vypnutí (relé na skokovou změnu vektoru a výkonu, popř. směrová nadproudová ochrana) nejsou náhradou za

požadované napěťové a frekvenční ochrany. Při jejich nastavení je zapotřebí brát v úvahu reakci na kolísání zatížení v zařízení vlastní výroby a přechodné jevy v síti. U **zařízení schopných ostrovního provozu** je jejich hlavní funkcí rozpoznat ostrovní provoz (s částí sítě PDS), vypnout vazební vypínač a tím zamezit pozdějšímu nesynchronnímu sepnutí ostrovní sítě a sítě PDS. Vypínací časy těchto ochran je zapotřebí sladit s odpovídajícími časy napěťových a frekvenčních relé.

Ze smluvních důvodů nebo k zabránění přetížení zařízení mohou být požadovány ochrany pro omezení napájení do sítě. Nasazení odpovídajících ochran a jejich nastavení je zapotřebí odsouhlasit s PDS.

K připojení může být použit jak spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí, tak i spínač, který spojuje generátor popř. více paralelních generátorů se zbylým zařízením odběratele. Zapnutí tohoto vazebního spínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí minimálně nad rozběhovou hodnotou podpěťové ochrany.

K ochraně vlastní výroby se doporučuje časové zpoždění mezi obnovením napětí v síti a připojením výroby v rozsahu minut.

Časové odstupňování při připojování více generátorů v jednom společném předávacím místě je zapotřebí odsouhlasit s PDS.

Změny napětí při spínání

Změny napětí ve společném napájecím bodě, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů nebo zařízení, nevyvolávají nepřijatelné zpětné vlivy, pokud největší změna napětí pro výroby s předávacím místem v síti nn nepřekročí 3 %, tj.

$$\Delta U_{\max \text{ nn}} \leq 3\%.$$

Činitel $k_{i\max}$ se označuje jako „**největší spínací ráz**“ a udává poměr největšího proudu, který se vyskytuje v průběhu spínacího pochodu (např. zapínací ráz I_a) ke jmenovitému proudu generátoru nebo zařízení, např.

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}}.$$

Výsledky na základě tohoto „největšího zapínacího rázu“ jsou na bezpečné straně, pro činitel zapínacího rázu a platí následující směrné hodnoty:

$k_{i\max} = 1$ synchronní generátory s jemnou synchronizací, střídače

$k_{i\max} = 4$ asynchronní generátory, připojované s 95 až 105 % synchronních otáček, pokud nejsou k dispozici přesnější údaje o způsobu omezení proudu. S ohledem na krátkodobost

přechodového jevu musí přitom být dodržena dále uvedená podmínka pro velmi krátké poklesy napětí.

$k_{imax} = I_a/I_n G$ asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě

$k_{imax} = 8$ pokud není známo I_a .

4.3.5. Připojování generátorů

Přifázování zajišťují elektronické ochrany se synchronizačním modulem. Tento modul nesleduje jen hodnotu veličin, ale také jejich dynamiku, čili změny parametrů v čase a umí vypočítat okamžik připojení a vyslat povel k zapnutí generátoru k síti tak, aby nenastal elektrický a mechanický ráz. Vypínač má totiž reakční čas až několik desítek ms.

U **synchronních generátorů** je nutné takové synchronizační zařízení, se kterým mohou být dodrženy následující podmínky pro synchronizaci:

- rozdíl napětí $\Delta U < \pm 10 \% U_n$
- rozdíl frekvence $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$
- rozdíl fáze $< \pm 10^\circ$.

Asynchronní generátory rozbíhané pohonem musí být připojeny bez napětí při otáčkách v mezích 95 % až 105 % synchronních otáček a mohou vlivem svých vnitřních přechodných jevů způsobit velmi krátké poklesy napětí. Takovýto pokles smí dosáhnout dvojnásobku jinak přípustné hodnoty, tj. pro síť vn 4 %, pro síť nn 6 %, pokud netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí nepřekročí jinak přípustnou hodnotu.

U asynchronních generátorů schopných ostrovního provozu, které nejsou připojovány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky spínání jako pro synchronní generátory.

4.3.6. Řízení jalového výkonu

Zdroj musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníku $\cos \phi = 0,85$ až 1 (dodávka jalového výkonu) a účinníku až $\cos \phi = 1$ až 0,95 (odběr jalového výkonu) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru $\pm 5 \% U_n$ a při kmitočtu v rozmezí 48,5 až 50,5 Hz.

U kompenzačního zařízení zdrojů je zapotřebí přihlížet ke způsobu provozu vlastní výroby a z toho vyplývajících zpětných vlivů na síťové napětí.

Provoz zdrojů může vyžadovat opatření k omezení napětí harmonických a pro zamezení nepřijatelného zpětného ovlivnění HDO. S PDS je proto zapotřebí odsouhlasit výkon, zapojení a způsob regulace kompenzačního zařízení, případně i hrazení harmonických nebo frekvence HDO vhodnými indukčnostmi.

Pro jednoznačné přiřazení pásem účinníku slouží následující tabulka. Pro předcházení rozporům při hodnocení účinníku se přitom doporučuje používat jednotně spotřebičovou orientaci.

Příklad	Zdrojová orientace	Spotřebičová orientace
Synchronní generátor (přebuzený)	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \phi < 90^\circ$	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \phi < 270^\circ$
Asynchronní generátor	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \phi < 360^\circ$	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \phi < 180^\circ$
Synchronní motor (přebuzený)	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \phi < 180^\circ$	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \phi < 360^\circ$
Asynchronní motor	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \phi < 270^\circ$	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \phi < 90^\circ$

Tab. 4.2 Přiřazení pásma účinníku

Jalový výkon u asynchronních generátorů

Potřebný jalový výkon asynchronního generátoru je cca 60 % dodávaného zdánlivého výkonu. Nemá-li být tento jalový výkon dodáván ze sítě PDS, je třeba pro kompenzaci připojit paralelně ke generátoru odpovídající kondenzátory. Protože asynchronní generátor smí být připínán k síti pouze v beznapěťovém stavu, nesmějí být příslušné kondenzátory připojeny před připojením generátoru. K tomu může být zapínací povel odvozen např. od pomocného kontaktu vazebního vypínače. Při vypnutí generátoru je zapotřebí pro ochranu před samobuzením generátoru a ochranu před zpětným napětím kondenzátory odpojit.

Kompenzační rozvaděče od firmy Emcos pro kompenzaci asynchronních generátorů mají dodatečné typové značení "E" (EME, EVE, EFE atd.) a po dobu fázování generátoru mají blokovanou funkci regulátoru (použití je nutno uvést v objednávce).

Jalový výkon u synchronních generátorů

U synchronních generátorů může být $\cos \phi$ nastaven buzením. Podle druhu a velikosti výkonu pohonu je buď postačující konstantní buzení, nebo je zapotřebí regulátor na napětí, $\cos \phi$.

Jalový výkon u střídačů

Vlastní výrobní provozované se střídači řízenými sít'ovou frekvencí mají spotřebu jalového výkonu odpovídající přibližně asynchronnímu generátoru. Proto pro kompenzaci těchto střídačů platí stejné podmínky jako u asynchronních generátorů.

Výrobní se střídači s vlastní synchronizací mají nepatrnou spotřebu jalového výkonu, takže kompenzace jalového výkonu se u nich obecně nepožaduje.

4.3.7. Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání jsou obvykle provozována s frekvencí v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Místně použitou frekvenci HDO je zapotřebí zjistit u PDS. Vysílací úroveň je obvykle 1,5 % až 2,5 % U_n .

Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO v přípojném bodu, je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy. Jejich technické parametry musí být odsouhlaseny PDS.

Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí:

- Výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO nebo leží v bezprostřední blízkosti, nesmí překročit 0.1 % U_n .
- Napětí produkovaná výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvencí HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0.3 % U_n .

Výše uvedené hodnoty 0.1 % U_n resp. 0.3 % U_n vycházejí z předpokladu, že v síti nn nejsou připojeny více než dvě vlastní výrobní. Jinak jsou zapotřebí zvláštní výpočty.

Pokud vlastní výrobní nepřípustně ovlivňuje provoz zařízení HDO, je zapotřebí, aby její provozovatel učinil opatření potřebná k odstranění ovlivnění, a to i když ovlivnění je zjištěno v pozdějším čase.

4.3.8. Provozní požadavky

Zařízení potřebná pro paralelní provoz vlastní výrobní se síti PDS musí výrobce udržovat neustále v bezvadném technickém stavu. Spínače a ochrany musí být v pravidelných lhůtách funkčně přezkoušeny odborným pracovníkem. Výsledek je zapotřebí dokumentovat zkušebním protokolem.

Tento protokol má chronologicky doložit předepsané zkoušky a být uložen u zařízení vlastní výroby. Slouží též jako důkaz řádného vedení provozu.

PDS může v případě potřeby požadovat přezkoušení ochran pro oddělení od sítě a ochran vazebního spínače. Pokud to vyžaduje provoz sítě, může PDS zadat změněné nastavení pro ochrany.

PDS je při nebezpečí nebo poruše oprávněn k okamžitému odpojení výroby od sítě.

Provozovatel výroby musí s dostatečným předstihem projednat s PDS zamýšlené změny zařízení, které mohou mít vliv na paralelní provoz se sítí, jako např. zvýšení nebo snížení výkonu výroby, výměnu ochran, změny u kompenzačního zařízení.

5. Navržené řešení KJ pro instalaci v areálu ČOV Hranice

Bioplyn (kalový plyn) produkovaný z kalů ČOV bude palivem v kogeneračních jednotkách sloužících pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. V minulosti byl přebytek tohoto produktu bez užitku spalován v atmosférických hořácích a v podstatě zhoršoval stav ovzduší. Výstavbou této KJ se sleduje a jednak ochrana ovzduší, tak i energetický přínos pro investora. Ve společné strojovně budou osazeny KJ, s předpokladem provozu na zemní plyn v případě, že nebude dostatek kalového plynu.

Kogenerační jednotka na bioplyn

Kogenerační jednotka je konstrukčně řešena s umístěním plynového spalovacího motoru a synchronního generátoru na společném základovém rámu. Tyto základní prvky doplněné o potřebné příslušenství jsou umístěny pod protihlukovým krytem. Řídící panel jednotky je snadno přístupný a digitální zobrazovací jednotka ukazuje všechny potřebné provozní informace, ke kterým například patří: vyrobené množství elektřiny, provozní hodiny jednotky, výstupní teplotu spalin do komína, výstupní teplotu vody dodávanou do systému ústředního vytápění a další důležité technické údaje.

Odpadní teplo z chladicí kapaliny a spalin je využito k vytápění nebo přípravě teplé užitkové vody. Vlastní chladicí okruh KJ je oddělen od okruhu topného systému přes tepelné výměníky.

KJ může v paralelním provozu spolupracovat s vnější elektrickou rozvodnou soustavou dodavatele elektřiny a je přizpůsobena k dodávce elektřiny do sítě v době platnosti špičkového, vysokého i nízkého tarifu. Kogenerační jednotka může být provozována v základním i špičkovém zatížení a při použití KJ se synchronním generátorem je možnost použití v ostrovním nebo nouzovém provozu. Při návrhu je výhodné volit pokrytí potřebného provozního elektrického výkonu elektrickou energií kogenerační jednotky a špičky spotřeby vykrýt například dodávkou od dodavatele energie.

Jednotka je konstruována pro plně automatizovaný, bezobslužný provoz s periodickými prohlídkami a potřebnou údržbou spočívající například ve výměně oleje.

Pro ochranu zařízení jsou v jednotce instalovány elektrické ochrany, ke kterým například patří:

- zpětná wattová ochrana,
- nadproudová ochrana,
- napětíové a frekvenční ochrany,
- ochrana proti nesymetrickému zatížení,
- ochrana proti nebezpečnému dotykovému napětí,
- startovací zařízení včetně akumulátoru,
- napájecí zdroj pro akumulátor a pro budící vinutí,

- tepelná ochrana ložisek a vinutí,
- měření vibrací.

Výše uvedené elektrické ochrany, spolu s technologickými ochranami spalovacího motoru v případě poruchy umožňují samočinné odstavení soustrojí z provozu a uzavření přívodu paliva.

Spouštění a odstavování kogenerační jednotky z provozu je realizováno pomocí prvotního elektrického impulsu vyslaného například hromadným dálkovým ovládáním, časovým spínačem, modemem nebo povelem z dispečerského pracoviště.

Návrh druhu a výkonu respektuje následující fakta :

- Z hlediska druhu kogeneračních jednotek je ve většině případů ekonomicky i ekologicky vhodnější instalovat KJ s plynovým motorem, které mají při nižších výkonech podstatně vyšší elektrickou účinnost a navíc mají nižší měrné investiční náklady než jednotky s plynovou turbínou (jednotky s plynovou turbínou je vhodné instalovat až od elektrického výkonu cca 5 MW).
- Výhodou kogeneračních jednotek s plynovým motorem je dodávka využitelného tepla v teplé nebo horké vodě, případně ve výjimečných případech v teplé vodě a páře v poměru tepelného a elektrického výkonu cca 60 % - 40 %, naopak KJ s plynovou turbínou mohou dodávat teplo i v přehřáté páře.

5.1. Navržená kogenerační jednotka STRATOS MGM60 BIOPLYN

Vlastní KJ jsou umístěny v prostoru strojovny, viz. příloha č. II.II. Každá jednotka je schopna samostatného provozu v rozsahu 50 – 75 – 100 % jmenovitého zatížení KJ, což odpovídá elektrickému výkonu 25,7 – 38,4 – 51,1 kW_e a dodávce tepelného výkonu 49,9 – 63,5 – 83,7 kW_t. Tyto a další technické údaje jsou uvedeny v katalogovém listu (příloha č. I).

Skládá se z vlastního plynového motoru typu MAN E 0836 E302, synchronního generátoru STAMFORD UCI 224 F1, zařízení pro výrobu tepla a chlazení směsi, plynové trati, výfukového systému včetně tlumiče, rozvaděče, systému nouzového chlazení, olejového hospodářství a protihlukové kapoty. Generátor elektrické energie je dodán synchronní a to z důvodů potřeby paralelního provozu se sítí, ale i v případě potřeby použití jakožto náhradního zdroje v ostrovním režimu. Při provozu KVET je produkováno elektrické napětí 400/230 V, 50 Hz, horká voda o teplotním spádu 90°C / 70°C a spaliny o teplotě cca 520°C v množství 283 kg/h při 100 % zatížení, teplota výfukových plynů za spalínovým výměníkem je 125 – 185°C. Emisní hodnoty spalin

ve výfukových plynech jsou pod limitem nařízení vlády č. 352/2002Sb., Vyhláška č.117/97 Sb. a podle TA Luft 86. Spaliny od každé jednotky jsou samostatně vedeny potrubím s chladičem mimo prostor strojovny.

Vyprodukovaná horká voda je vedena do centrálního rozdělovače horké vody odkud je pomocí oběhových čerpadel vedena k jednotlivým spotřebičům. Součástí systému jsou i hydraulická spojka, sběrač, vratné větve chlazené vody, systém doplňování vody, provozní tlak topné soustavy max. 0,4 MPa, s procesorovou jednotkou pro přímé napojení na nadřazené systémy, dávkovacím čerpadlem chemikálií, změkčovacím zařízením, doplňovacím čerpadlem, zásobníkovou nádrží a ostatním nezbytným příslušenstvím. Veškeré rozvody topné vody jsou opatřeny nátěrem a tepelně izolovány.

Tepelná účinnost (poměr tepelného výkonu jednotky k výkonu v přiváděném plynu) se pohybuje v rozsahu cca 52 – 53 %. Tepelným výkonem kogenerační jednotky se obvykle rozumí součet odpadního tepelného výkonu z chlazení bloku motoru, oleje a spalin. Na tepelném výkonu se obvykle podílí odpadní teplo bloku motoru a oleje cca 65 %, odpadní teplo spalin cca 35 %. Odpadní teplo z chlazení směsi (cca 8 % z celkového odpadního tepla se obvykle do tepelného výkonu jednotky nezahrnuje, protože je odváděno na nižší teplotě). Tohoto tepla lze však případně též využít, např. pro temperování přilehlých prostor (sklady a pod.) Podobným způsobem lze rovněž využít ohřátého větracího vzduchu, který odvádí teplo z povrchu jednotky - především při tzv. modulovém uspořádání, kdy celá kogenerační jednotka je umístěna v protihlukovém krytu.

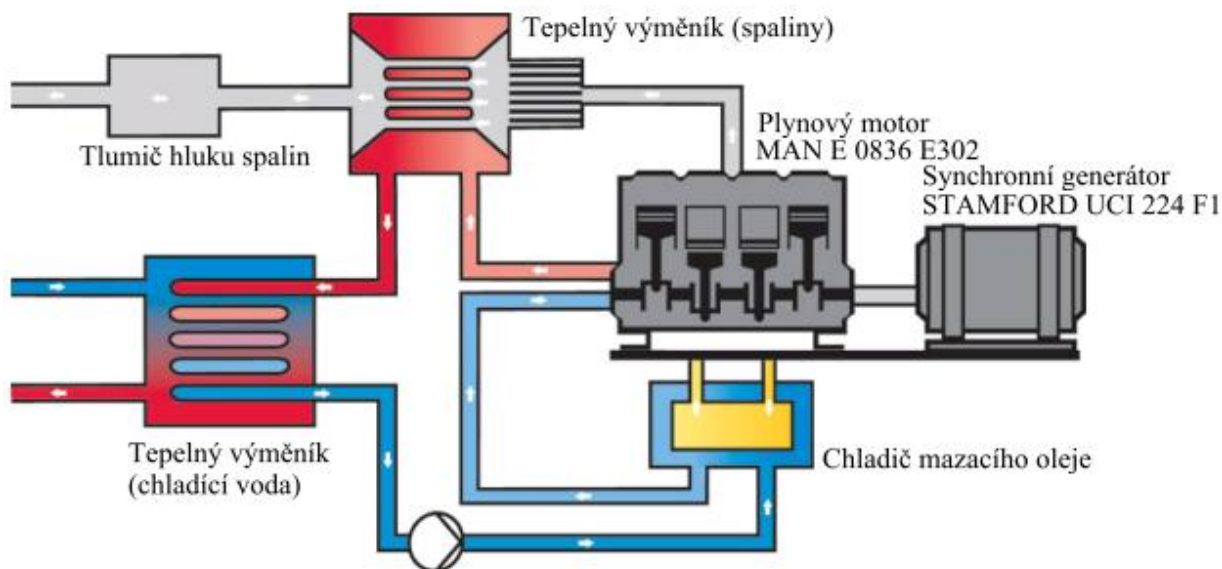
Elektrická účinnost (poměr el. výkonu jednotky k příkonu v přiváděném plynu) se pohybuje v rozsahu cca 27 – 32 %, velikost účinnosti je přímo úměrná výkonu jednotky. Poměrem elektrické a tepelné účinnosti konkrétní jednotky je určen poměr elektrického a tepelného výkonu jednotky, který se pohybuje v rozsahu cca 1 : 1 (pro jednotky o vysokém výkonu) až 1 : 2 (pro jednotky o nízkém výkonu).

% zatížení	100 %	75 %	50 %
Elektrická účinnost	32,35 %	31,44 %	27,64 %
Tepelná účinnost	53,06 %	52,02 %	53,69 %
Celková účinnost	85,41 %	83,46 %	81,33 %

Tab. 5.1 Tabulka účinnosti vybrané KJ při daném zatížení

5.2. Funkční schéma kogenerační jednotky STRATOS MGM60

Funkční schéma kogenerační jednotky je patrné z obr. 5.1. Bioplyn ve směšovači se vzduchem tvoří směs, která je nasávána a komprimována turbodmychadlem poháněným spaliny odcházejícími z motoru. Komprimovaná horká směs je chlazená v chladiči směsi a dodávána do motoru. Teplo z chlazení bloku motoru a odcházejících spalin je využito pomocí výměníků (chlazení bloku motoru, oleje a spalin) zapojených do série pro ohřev vody v teplovodním okruhu.



Obr. 5.1. Technologické schéma kogenerační jednotky STRATOS MGM60

5.3. Řízení provozu KJ

Modulární koncepce řídicího systému zajišťuje optimální konfiguraci pro každou jednotku. Řídicí systém je tvořen výkonnou centrální procesorovou jednotkou s programovým vybavením, moduly binárních vstupů a výstupů, moduly analogových vstupů a výstupů a samostatnou jednotkou síťových ochran. Zobrazení stavů soustrojí je pomocí grafického LCD, ovládání pomocí membránové klávesnice a přepínačů na čelním panelu rozváděčové skříně. Systém zajišťuje plně automatizovaný provoz jednotky a je umístěn společně se silovou částí (jističe, pojistkové odpínače, stykače, relé) v jednom rozvaděči. Rozvaděč je integrován na rámu KJ a je součástí dodávky technologie.

Provoz kogenerační jednotky je ovládán z ovládacího panelu, který u jednotek nižšího výkonu je umístěn přímo na jednotce, u vyšších výkonů v blízkosti jednotky. Najíždění kogenerační jednotky a odstavení z provozu je obvykle zcela automatické, s danou hierarchií jednotlivých činností (promazání, start bez zatížení, přifázování, zatěžování, provoz, odlehčení, odfázování, odstavení).

Vlastní provoz jednotky je obvykle řízen buď pro dodávku el. energie při jmenovitém výkonu nebo výkon jednotky kopíruje spotřebu subjektu, do kterého dodává el. energii.

Z jednotlivých provozních celků kogenerační jednotky jsou průběžně snímány hodnoty důležitých teplotních a elektrických veličin a jsou neustále porovnávány s nastavenými hodnotami. V případě, že hodnota některých veličin je mimo povolený rozsah, je provoz jednotky automaticky upraven nebo je jednotka odstavena z provozu. Naměřené hodnoty jsou mimoto ukládány do paměti řídicího systému pro možnost zpětné kontroly provozu jednotky.

Protože s řídicím systémem jednotky lze komunikovat po běžných sítích, je možno jednotku připojit na tzv. centrální dispečink (obvykle dodavatele jednotky), pomocí kterého je provoz jednotky neustále sledován s možností včasného odhalení poruchových stavů, a který též umožňuje dálkové uvádění a odstavování jednotky z provozu.

Každá jednotka je vybavena samočinnou regulací provozu, jejíž funkce a rozsah závisí na velikosti výkonu motoru. U malých zařízení se jedná jen o automatický start, odstavení a nejčastěji dvou nebo třístupňové zatěžování. Velká zařízení mají monitorovací systém, který řídí provoz podle potřeby tepla i elektrické energie odběratele.

Úkolem kogenerační jednotky, při aplikaci v Areálu ČOV Hranice, je dodávka tepla a elektrická energie je vedlejším produktem, proto se řídí činnost všech jednotek podle venkovní teploty, teploty vratné vody, teplotního rozdílu topné a vratné vody, atd.

KJ v objektu ČOV Hranice jsou provozovány jako hlavní zdroje tepelné energie a vyprodukovaná energie elektrická pokrývá pouze 1/3 vlastní spotřeby, proto jsou kogenerační jednotky řízeny pouze podle požadavků na tepelnou energii. Vyrobená elektrická energie není dodávána do DS, ale využívá se nabídky „zelených bonusů“.

KJ se používá jako zdroj tepla pro topení a ohřev vody, a musí být vybavena sekundárním okruhem, který zajišťuje vývod tepla do topného systému. Pokud není možné odvést plný tepelný výkon kogenerační jednotky, je vhodné doplnit systém chladicí jednotkou pro nouzové chlazení.

Kogenerační jednotka, která se podílí výraznějším způsobem na dodávce elektrické energie do sítě při pokrývání špičkových zatížení elektrizačního systému dané lokality, je řízena podle požadavku dispečinku rozvodné soustavy.

Při výpadku dodávky el. energie z distribuční sítě, mohou KJ pracovat v nouzovém režimu a vyprodukovaná elektrická energie slouží pro provoz Nouzového rozvaděče RHN 01, odkud jsou napájeny zařízení dmýchány, čerpací stanice a budova dispečinku.

Obsluha a servis kogeneračních jednotek

- provoz kogenerační jednotky je bezobslužný, je nutná pouze denní kontrola pravidelnosti chodu,
- servis je zajišťován dodavatelem zařízení na základě jednotlivých objednávek nebo na základě dohody o pravidelné údržbě, provádí se vždy buď po uplynutí určité provozní doby kogenerační jednotky nebo po dosažení určitého množství vyrobených kWh.

Zobrazované údaje jsou členěny do následujících skupin

- aktuální a limitní hodnoty,
- regulační hodnoty,
- stavová hlášení,
- poruchová hlášení a kódy,
- seznam poruch.

5.3.1. Standardní funkce

- automatický start / stop jednotky,
- regulace otáček / výkonu,
- automatické přifázování generátoru na rozvodnou síť při paralelním provozu,
- vyhodnocení poruchy sítě (napětí, frekvence, vektorový skok),
- zpětná wattová ochrana,
- měření teplot a tlaků provozních médií (plyn, voda, olej),
- automatické vyhodnocení poruchy měřicích snímačů ,
- detekce úniku plynu,
- (5xDO, 2xDI, 1xAI, 1xAO) signály pro vnější komunikaci,
- varování obsluhy před dosažením limitních hodnot,
- automatické odstavení soustrojí při překročení nastavených limitních hodnot.

5.3.2. Volitelná rozšíření

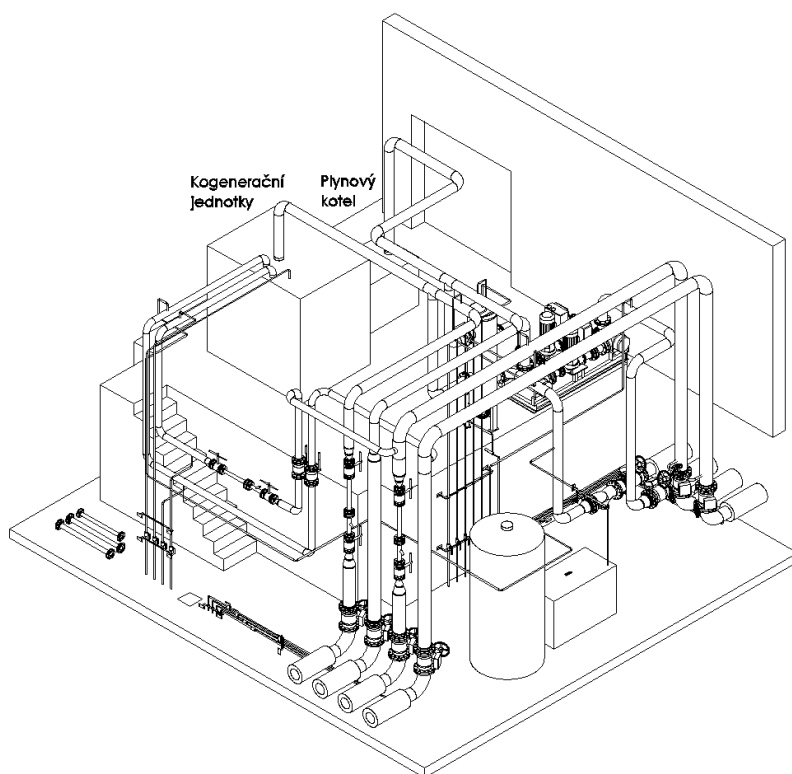
- systém TELECONTROL umožňuje připojení jednotky na servisní dispečink pomocí Internetu (využití tel. linky nebo GSM sítě),
- funkce ostrovního provozu KJ - dodávka el. energie při výpadku rozvodné sítě,
- sériová komunikace s řídicím systémem uživatele (Modbus, Profibus).

5.4. Umístění a připojení jednotky pro dodávku tepla a el. energie

Umístění jednotky je přizpůsobeno hlavně umístění stávajícího zdroje energie, s kterým bude spolupracovat, umístění nouzového rozvaděče a možnosti využití tepelného a elektrického výkonu. Těmto požadavkům vyhovuje umístění ve strojovně KJ (dosavadní Kotelna).

Dodávka tepla z kogenerační jednotky je sladěna s dodávkou tepla z kotlů hlavně z hlediska dodržení teploty vratné vody, která bývá požadována na odlišné úrovni (pro KJ teplota nižší, pro kotel teplota vyšší) a to pomocí systému MaR. Rovněž je zajištěno hydraulické vyvážení celé soustavy.

Vzhledem k vysoké měrné ceně kogenerační jednotky vztažené k výkonu je její provoz koncipován tak, aby byl nadřazen ostatním zdrojům tepla (kotle, nákup tepla z externího zdroje) a současně i nadřazena spotřeba elektrické energie před možností jejího odběru ze sítě. Také je vhodné, aby kogenerační jednotka plnila i funkci náhradního zdroje elektrické energie.

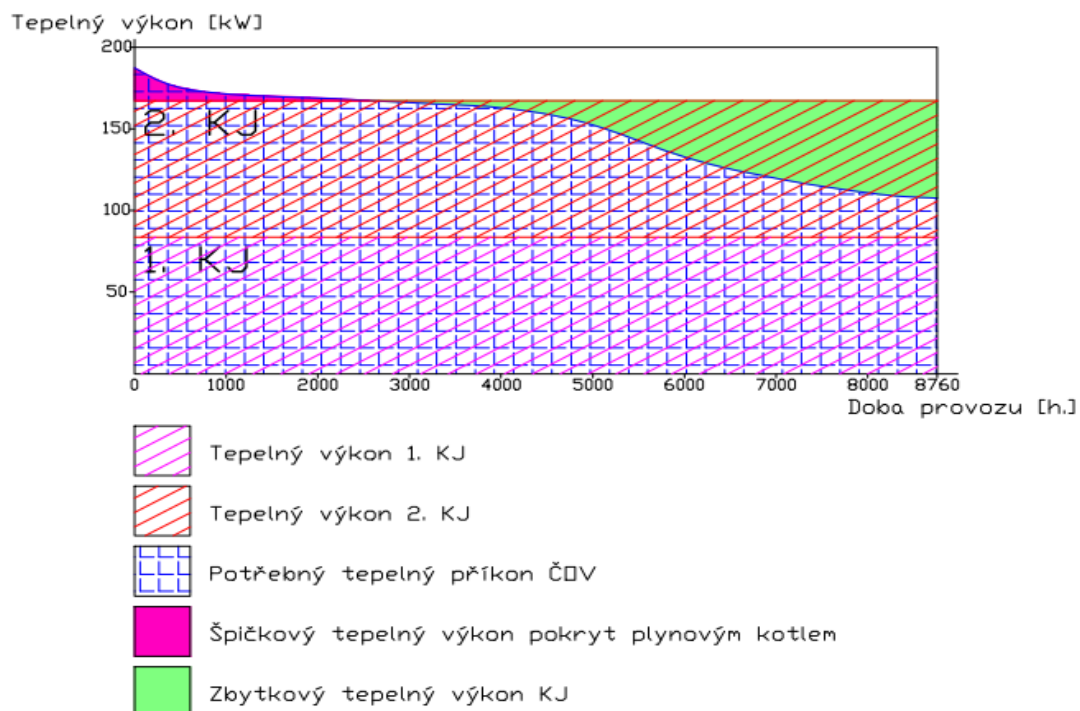


Obr. 5.2. Dispoziční řešení strojovny kogeneračních jednotek MGM60 (kotelny)

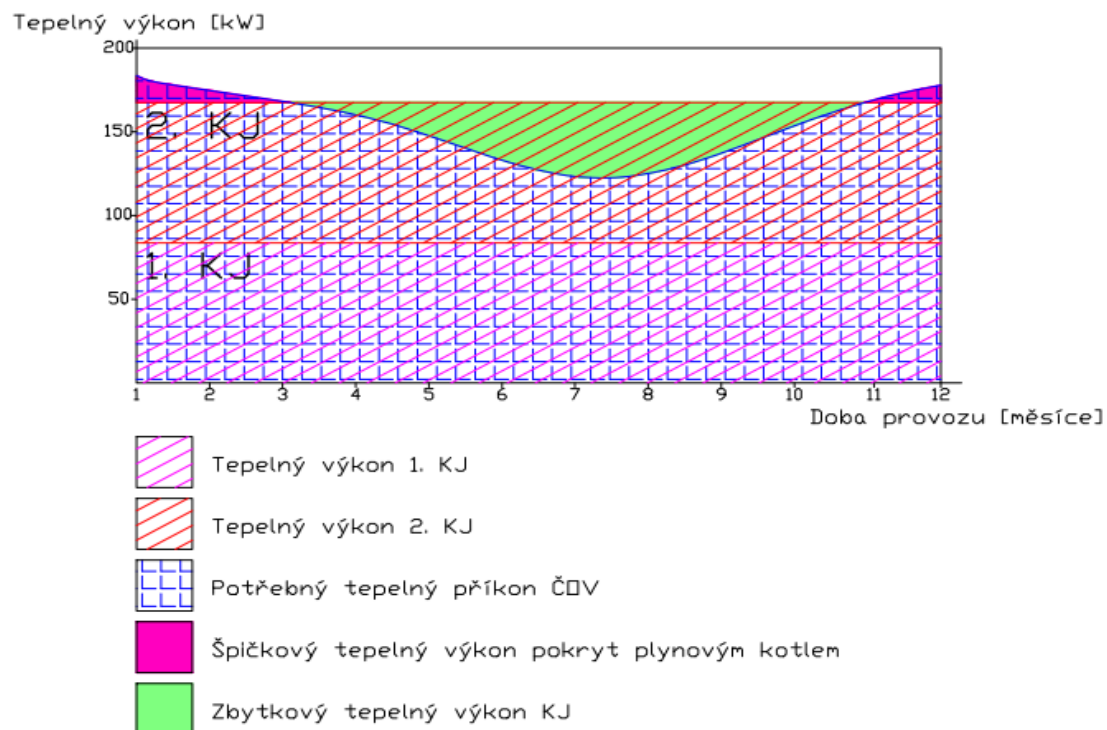
5.5. Analýza energetického hospodářství komplexu

Před každou volbou technologie a návrhem velikosti zdroje KVET je potřeba bezpodmínečně znát (zkonstruovat) diagramy potřeby tepla (roční, měsíční, denní), popřípadě i diagramy potřeb elektrické energie (denní, týdenní, roční), jeli KJ určena výhradně pro krytí vlastních spotřeb.

5.5.1. Analýza provozu KJ z hlediska zásobování komplexu tepelnou energií



Obr. 5.3. Roční diagram zatížení 2ks KJ MGM60 v areálu ČOV Hranice



Obr. 5.4. Měsíční diagram potřeby a dodávky tepelného výkonu 2ks KJ MGM60

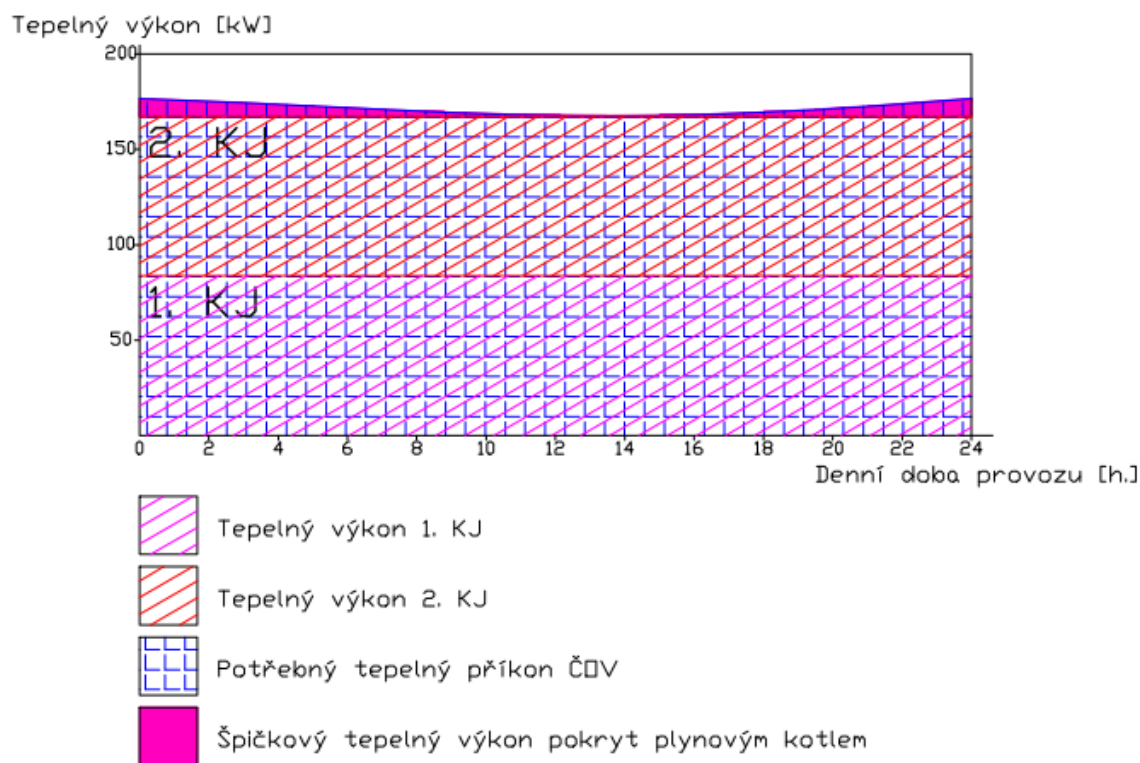
Specifikace spotřeby tepelné energie

Sledujeme-li obvyklé rozdělení tepelného výkonu v roce (roční diagram zatížení), je jasné, že kogenerační jednotka nesmí být příliš velká. Její tepelný výkon se stanovuje tak, aby se mohlo teplo odebírat i v době, kdy je nízké zatížení a to po dobu minimálně 4000 hodin ročně.

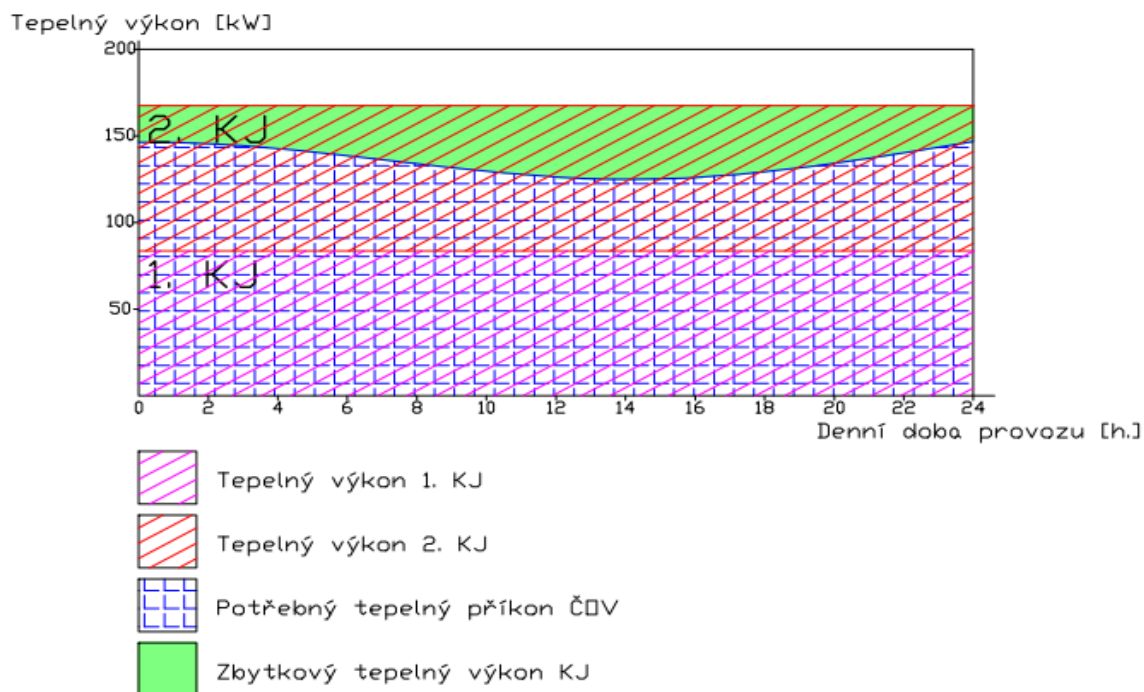
Vyrobená tepelná energie z KJ je dodávána pro vlastní spotřebu ČOV. Zbytkový tepelný výkon je měřen v chladiči, ale je možné jeho využití v letních měsících pro chlazení pomocí absorpčního chladičového zařízení. V zimním období je nutno špičkový odběr tepelného výkonu pokrýt doplňkovým zdrojem tepla, např. plynovým kotlem.

Denní průběh spotřeby tepla vcelku rovnoměrný, během roku s nižším propadem v letním období, v důsledku vysoké spotřeby tepla na technologii kalového hospodářství.

I přes použití kogeneračních jednotek neodpadá nutnost instalace spalínového plynového kotle, a to z důvodu pokrytí špiček odběru tepelného výkonu (v zimním období, nebo při pravidelných servisních odstávkách zařízení)



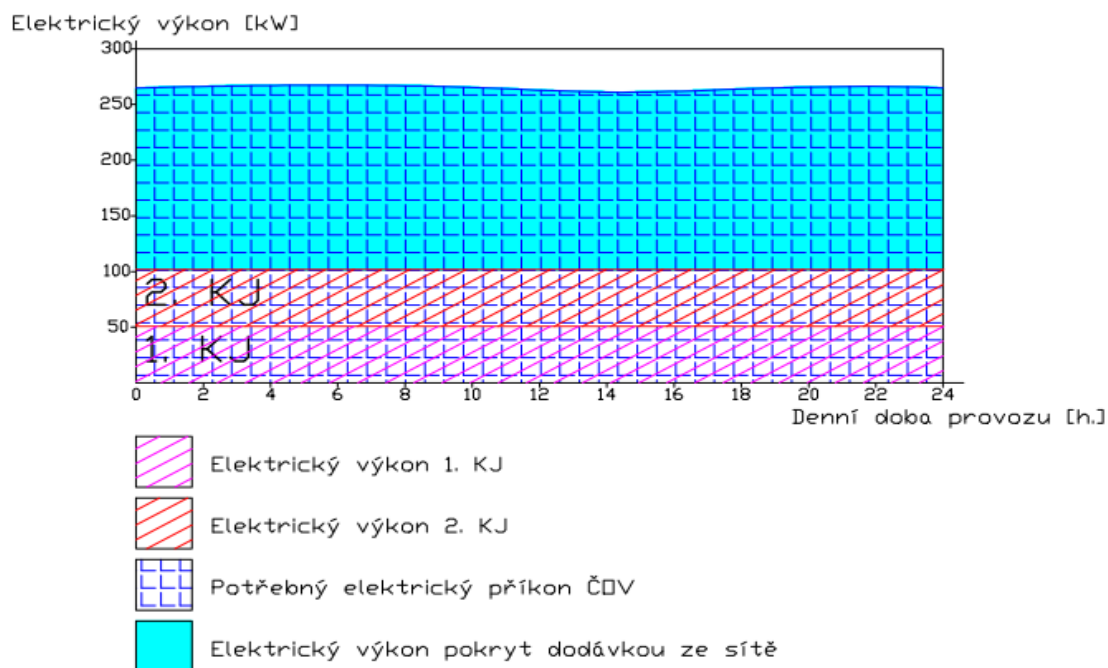
Obr. 5.5. Denní diagram spotřeby a dodávky tepelného výkonu v zimním období 2ks KJ MGM60



Obr. 5.6. Denní diagram spotřeby a dodávky tepelného výkonu v letním období 2ks KJ MGM60

5.5.2. Analýza provozu KJ z hlediska zásobování komplexu elektrickou energií

Vyrobená elektrická energie z KJ je dodávána pro vlastní spotřebu v areálu ČOV. Zbývající část potřebného elektrického příkonu je pokryta dodávkou z distribuční sítě.



Obr. 5.7. Denní diagram spotřeby a dodávky elektrického výkonu 2ks KJ MGM60

5.6. Energetické zhodnocení provozu KJ

Spotřeba tepla a elektrické energie v různých typech průmyslových závodů z hlediska harmonogramu odběru obou druhů energií, poměru spotřeby tepla a elektrické energie a druhu a teploty teplonosného média může nabývat nejrůznějších kombinací.

Volba druhu a hlavně dimenzování výkonu kogenerační jednotky je vždy zcela podřízena základnímu faktu - výroba jen takového množství elektrického výkonu, který závod v reálném čase dokáže spotřebovat, protože finanční zhodnocení této energie je podstatně vyšší než v případě jejího prodeje do sítě. Pro zajištění příznivé ekonomie provozu kogenerační jednotky musí být současně v co nejvyšší míře využito i tepelného výkonu jednotky.

Dimenzování instalovaného výkonu KJ do průmyslových závodů je tedy kompromisem mezi oběma zmíněnými požadavky.

Jak vyplývá z výše popsaných stručných zásad, je návrh optimálního jmenovitého výkonu kogenerační jednotky značně složitým procesem. Je možno jej stanovit důsledně pouze na základě podrobné technicko - ekonomické analýzy několika variantních výkonů s odpovídajícím způsobem provozu (časovým využitím instalovaného elektrického a tepelného výkonu) dle zjištěných harmonogramů odběru tepla a elektrické energie.

Shrnutí vstupních údajů a doporučení instalace kogenerační jednotky

Stručná analýza :

- 1/ Nízký pokles spotřeby tepla v letním období - dominantní technologická spotřeba tepla
- 2/ El. příkon areálu, který celodenně i celoročně činí přibližně 265 kW je dodáván ze sítě.

Návrh kogenerační jednotky :

- 1/ V důsledku odběru tepla v teplé vodě a vyššího elektrického příkonu je možno instalovat KJ s plynovým motorem.
- 2/ Z požadavků možnosti paralelního chodu se sítí a případného zálohování zdroje elektrické energie s okamžitým automatickým najetím při výpadku sítě je doporučena KJ s kombinovaným provozem P + E (osazena synchronním generátorem).
- 3/ Je možno doporučit KJ o el. výkonu 51,1kW_e a tep. výkonu 83,7kW_t, provoz jednotky celoroční a ve všech třech směnech. S případnou částečnou redukcí výkonu v letním období, a to z důvodů plánovaných servisních prací na zařízení.

- 4/ Využití instalovaného výkonu kogeneračních jednotek při navrženém provozu by bylo více než 8 000 hod/rok s téměř 100 % využitím vyrobeného tepla.
- 5/ Po uvedení KJ do provozu bude možno snížit stávající čtvrt hodinové maximum odběru el. energie o instalovaný elektrický výkon jednotky, čímž bude dosaženo podstatné finanční úspory při platbě za dodávku el. energie ze sítě.

Aby byla kogenerační jednotka ekonomicky zajímavě využita, je nutno udržet stroj co nejdéle v chodu. Čím déle odevzdává kogenerační jednotka teplo a elektrický výkon do systému, tím dříve se její instalace amortizuje. Při dimenzování, až na výjimky (např. nouzový napájecí zdroj) stojí v popředí dodávka tepelné energie. Kogenerační jednotka je tedy řízená dle výroby tepla.

Podpora výroby elektřiny

Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a navazující vyhlášky:

- Základní právní norma pro podnikání v OZE.
- Upravuje v souladu s právem EU způsob podpor v závislosti na druhu technologie a v případě projektů energetického využití biomasy i v závislosti na druhu zpracovávané biomasy.
- V případě prodeje elektřiny do sítě je využíván model zvýhodněné výkupní ceny elektřiny. Výše výkupních cen elektřiny budou i nadále stanovovány cenovými rozhodnutími Energetického regulačního úřadu.

Výkupní ceny elektřiny a zelené bonusy - Cenová rozhodnutí ERÚ:

Aktuální výše výkupních cen elektrické energie a zelených bonusů jsou stanoveny formou cenových rozhodnutí Energetického regulačního úřadu.

- V případě, že vyrobená elektřina není dodávána do sítě (např. krytí vlastní spotřeby) je zaveden model podpor ve formě tzv. "zelených bonusů" = navýšení tržní ceny elektřiny, hradí ji provozovatel regionální distribuční soustavy resp. přenosové soustavy ve prospěch provozovatele OZE.
- Výše uvedené formy podpor nelze kombinovat = provozovatel OZE se musí rozhodnout pouze pro 1 z možností.
- Některé navazující vyhlášky:
Vyhláška č. 475/2005, kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů.
Vyhláška č. 482/2005 Sb. o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy (ve znění Vyhlášky 5/2007 Sb.).

Vyhláška č. 502/2005 Sb. o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a neobnovitelného zdroje.

5.7. Ekologické vyhodnocení provozu kogenerační jednotky

Instalace KJ má za cíl především úsporu primárních paliv a energií a snížení emisí.

Při spalování plynu v motorech vzniká vodní pára, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku a nespálené uhlovodíky. Z lokálního pohledu kogenerační jednotky životní prostředí zatěžují, avšak ve srovnání s uhlím jsou množství škodlivých látek SO₂, CO₂, NO₂ a prachu výrazně nižší.

K omezení emisí se používají konstrukční úpravy motorů, katalyzátory i provozní opatření (např. snížení zatížení motoru, optimální nastavení zážehu, zvýšení přebytku vzduchu). Na ochranu proti hluku - protihlukové kryty, zvuková izolace strojovny, pružné uložení jednotek na základ, tlumiče hluku ve výfukovém potrubí před vstupem do komína, odhlučnění přívodu a odvodu ventilačního vzduchu, atd.

% zatížení	100 %	75 %	50 %
Množství vzduchu pro spalování [kg/h]	280,3	202	153,8
Teplota spalin [°C]	523	498	460
Množství spal. spalin [kg/h]	283	216	165

Tab. 5.2 Emisní hodnoty vybrané KJ při daném zatížení

5.8. Ekonomické zhodnocení

Investiční náklady:	
2 ks KJ Motorgas STRATOS MGM60, instalace, připojení na DS	4.185.920 Kč
Stavební úpravy	15.000 Kč
Rezerva	20.000 Kč
Celkem	4.220.920 Kč

Tab. 5.3 Investiční náklady

Doba ročního provozu $t=8500\text{h}$, el. výkon kogeneračních jednotek MGM60 $P=2 \times 51\text{kW}_e$.

$$E = P \times t = 102 \times 8500 = 867.000 \text{ kWh}$$

Provozní náklady na provoz kogeneračních jednotek za rok:	
Náklady na údržbu a provoz (0,20 Kč/kWh _e)	173.400 Kč
Náklady na palivo (0 Kč/m ³)	0 Kč
Celkem	173.400 Kč

Tab. 5.4 Provozní náklady na provoz kogeneračních jednotek za rok

Provozní úspory při provozu kogeneračních jednotek za rok:	
Úspora při vlastní spotřebě vyrobené el.energie (1,86 Kč/kWh _e)	1.612.620 Kč
Úspora při využití „zelených bonusů“ (1,50 Kč/kWh _e)	1.300.500 Kč
Celkem	2.913.120 Kč

Tab. 5.5 Provozní úspory při provozu kogeneračních jednotek za rok

Provozní úspory při provozu kogeneračních jednotek za rok, po odečtu provozních nákladů:	
Celkem	2.739.720 Kč

Tab. 5.6 Provozní úspory při provozu kogeneračních jednotek za rok, po odečtu provozních nákladů

Roční úspora při provozu kogeneračních jednotek: **2.739.720 Kč.**

Provozní doba: **8500 h/rok.**

Prostá návratnost investice činí v tomto případě **2 roky.**

Toto jednoduché ekonomické zhodnocení nezohledňuje náklady na financování investice z úvěru, možnost rozdílné sazby za výkup elektřiny ve špičce a mimo ni, a možnosti snížení nákladů formou snížení sjednané hodnoty čtvrt hodinového maxima odběru elektrické energie.

6. Závěr

Stále více platí, že ekologické využívání obnovitelných zdrojů se investorům také ekonomicky vyplácí. Podpora obnovitelným zdrojům je a v blízké budoucnosti zůstane velmi diskutovanou, ale je téměř jisté, že nastavení podmínek bude směřem k rozvoji těchto zdrojů. Potenciál využívání OZE a to zejména položky biomasa, potažmo využívání bioplynů je významnou součástí obnovitelných zdrojů.

Vyhodnocení navrženého řešení spočívá ve využití vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu, a tím k finančnímu zisku z tzv. zelených bonusů. Kogenerační jednotky spolupracují v dodávce tepla se stávajícími kotli a její provoz je prioritní před provozem kotlů. Tepelná energie pokrývá spotřebu tepla provozu technologické části kalového hospodářství, jen v letním období vzniká její přebytek, tento je mařen v chladicích. Ovšem nabízí se možnost jej využít pro chlazení budovy dispečerského stanoviště, kde je klimatizace prostor zajištěna strojním chlazením s kompresorovými chladicími jednotkami. Chlazení kompresorové (poháněné el. energií) lze nahradit chlazením absorpčním (poháněné tepelnou energií) v kombinaci s kogenerační jednotkou. Tato kombinace kogenerační jednotky s plynovým motorem s absorpčním chladicím zařízením se označuje jako „trigenerace“. Díky trigeneračnímu principu dokážeme lépe využít kogeneračních jednotek téměř po celý rok a tím k lepším ekonomickým výsledkům a bližší návratnosti vložených investic.

Při výpadku dodávky z distribuční sítě bude kogenerační jednotka pracovat v nouzovém režimu, zejména pro napájení čerpací stanice, zařízení dmýchány, technologie kalového a plynového hospodářství, a budovy dispečerského stanoviště, což je další nespornou výhodou.

Konečné zhodnocení investice bude možné provést po několika letech jejího provozu, ale již dnes je patrné, že technické řešení se osvědčí a zlepší energetický, ekonomický a ekologický přínos pro provoz ČOV Hranice. Návratnost této investice je přijatelná. Provozovatel zamýšlí v případě nárůstu množství odpadních vod a tím i produkce bioplynu, instalovat v budoucnu další kogenerační jednotku.

Bioplyn vyrobený z odpadů je (na rozdíl od samotných odpadů) považován za obnovitelný zdroj energie a elektrickou i tepelnou energii z něj vyrobenou za energie z obnovitelných zdrojů. Každý využitý kilojoule tepla a kilowatthodina elektřiny vyrobených z bioplynu vzniklého rozkladem odpadů nahradí určité množství neobnovitelného paliva, které by bylo jinak potřeba na jejich výrobu.

Snahou vloženou do mé diplomové práce je podpořit vznik dalších bioplynových zařízení zpracovávajících biologicky rozložitelné odpady s cílem produkce elektrické i tepelné energie z vyrobeného bioplynu a tím přispět k úspoře primárních, neobnovitelných paliv; změnit negativní názor veřejnosti na bioplyn z hlediska možných emisí a zápachu tím, že v publikovaném textu ukazují, že tomu tak již není; přispět k odstranění ekonomické diskriminace tzv. „ostatních“ bioplynových stanic zpracovávajících bioodpady nižšími výkupními cenami vyrobené elektrické energie ve srovnání s ostatními OZE.

Seznam použité a doporučené literatury

Použitá literatura

- [1] KRBEK, J. *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*. 1. vyd. Brno : PC-DIR Real, 1999. 113 s. ISBN 80-85895-23-4.

Internetové zdroje

- [2] Pravidla provozování distribučních soustav. *E.on - distribuce* [online]. 2009, [cit. 2010-02-03]. Dostupný z WWW:
<http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_2009_4.pdf>.
- [3] Kombinovaná výroba elektřiny a tepla. *Internetové energetické konzultační a informační středisko ČEA* [online]. 2005, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW:
<<http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>>.
- [4] KOPECKÝ, P. Kombinovaný zdroj tepla a stanovení jeho výkonu. *Technická zařízení budov - info* [online]. 2007, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW:
<<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3831&h=203&pl=49>>.
- [5] KŘENEK, V. Energie biomasy. *Západočeská univerzita Plzeň* [online]. 2006, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://home.zcu.cz/~tvystein/downloads/EKE/Biomasa.pdf>>.
- [6] Výroba a využití biometanu. *Petroleum* [online]. 2008, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2008_ap_08.pdf>.
- [7] Rekonstrukce a modernizace ČOV Hranice zahájena. *Hydroprojekt* [online]. 2000, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.hydroprojekt.cz/news_cz.asp?NewsID=79>.
- [8] Energetický audit komplexu s klasickým energetickým zdrojem. *RAEN* [online]. 2007, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.raen.cz/reference/prirucky-publikace-database>>.
- [9] KARAFIÁT, J. Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla. *Informační portál Ministerstva průmyslu a obchodu ČR* [online]. 2006, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>>.
- [10] ŠVAŇA, V. Specifika spalování bioplynu v kogeneračních jednotkách s plynovými motory. *Motorgas* [online]. 2005, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW: <http://www.motorgas.cz/upl/download/10048s_Specifika%20bioplynu%20KJ%20Rakouske%20odny%202005.DOC>.

[11] Obnovitelné zdroje energie. *Centrum pro dopravu a energetiku* [online]. 1997, 1, [cit. 2010-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://cde.ecn.cz/dokumenty/energetika/obnovzdr.htm#5>>.

Webové stránky

[12] *Technická zařízení budov info* [online]. 2001 - 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/>>.

[13] *EMCOS s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.emcos.cz/>>.

[14] *Viessmann - kotle, solární systémy, tepelná čerpadla* [online]. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.viessmann.cz/>>.

[15] *Technický týdeník* [online]. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/>>.

[16] *TEDOM* [online]. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.tedom.cz/>>.

[17] *MOTORGAS* [online]. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.motorgas.cz/>>.

[18] *CZ Biom* [online]. 2001-2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/>>.

[19] *SOVEKO Plast, s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.oveko.cz/>>.

[20] *Informační portál Ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. 2008 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo-efekt.cz/cz/>>.

[21] *Hospodárná energie* [online]. 2003 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.infoenergie.cz/web/root/energy.php>>.

[22] *GE Jenbacher* [online]. 2000-2007 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.jenbacher.cz/>>.

[23] *AB Facility Services* [online]. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.energ.cz/>>.

[24] *VAK Přerov* [online]. 2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.vakprerov.cz/>>.

[25] *Agroweb - Internetový zemědělský portál* [online]. 2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.agroweb.cz/>>.

[26] *Energetický regulační řád* [online]. 2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW:

<<http://www.eru.cz/>>.

[27] *Bioprofit* [online]. 2007 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.bioplyn.cz/>>.

Normy, vyhlášky a zákony

[28] Zákon č. 91/2005 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (Energetický zákon)

[29] Vyhláška ERÚ 51/2008 Sb o podmínkách připojení k elektrizační soustavě

[30] ČSN EN 50160 (33 0122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě

[31] ČSN EN 61000-2-2 (33 3432): Elektromagnetická kompatibilita (EMC) -Část 2-2: Prostředí - Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí

[32] PNE 33 3430-1: Parametry kvality elektrické energie - Část 1: Harmonické a mezipharmonické

[33] PNE 33 3430-2: Parametry kvality elektrické energie - Část 2: Kolísání napětí

[34] PNE 33 3430-4: Parametry kvality elektrické energie - Část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí

[35] PNE 33 3430-5: Parametry kvality elektrické energie - Část 5: Přechodná přepětí – impulsní rušení

[36] PNE 33 3430-6: Parametry kvality elektrické energie - Část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání

[37] ČSN 33 3080: Kompenzace indukčního výkonu statickými kompenzátory

[38] ČSN 33 2000-4-41: Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení - Část 4: Bezpečnost - Kapitola 41: Ochrana před úrazem elektrickým proudem

[39] ČSN EN 50 438 Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí

[40] VYHLÁŠKA ERÚ č. 552/2008 Sb. o Pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona

Seznam příloh

Příloha I.	Katalogový list KJ Motorgas STRATOS MGM60
Příloha II.	Realizační projektová dokumentace MaR
Příloha II. I.	Dispoziční řešení areálu ČOV Hranice
Příloha II. II.	Dispoziční řešení strojovny KJ
Příloha II. III.	Technická zpráva
Příloha II. IV.	Schéma regulace
Příloha II. V.	Soupis datových bodů
Příloha II. VI.	Kabelová kniha
Příloha II. VII.	Jednopolové přehledové napájecí schéma
Příloha II. VIII.	Cenová nabídka na KJ STRATOS MGM60-BIO